



联合国

环境规划署

Distr.
GENERALUNEP/OzL.Pro/ExCom/84/69
18 November 2019CHINESE
ORIGINAL: ENGLISH

执行蒙特利尔议定书
多边基金执行委员会
第八十四次会议
2019年12月16日至20日，蒙特利尔

技术和经济评估小组有关与第 82/83 号决定 (e) 指出的
各项问题相关的能源效率事项的**最新**报告摘要
(第 83/64 号决定)

背景

1. 在第八十二次会议上，执行委员会审议了秘书处编制的一份文件，其中介绍了在缔约方不限成员名额工作组第四十次会议和蒙特利尔议定书缔约方第三十次会议上技术和经济评估小组与能源效率相关问题提出的报告进行审议的摘要。¹

2. 经讨论后，执行委员会除其他事项外决定：

(e) 在其第八十三次会议讨论第 XXVIII/2 号决定第 22 段和第 XXX/5 号决定第 5 段和第 6 段的执行方法，包括：

(一) 与维持和/或提高制冷、空调和热力泵行业 (RACHP) 低全球升温潜能值或零全球升温潜能值替代技术的能源效率相关的举措，例如：

a. 量化能源效率变化的方法；和

b. 与维持和/或加强能源效率相关的技术手段；

(二) 与成本相关的问题，例如相关的增支成本、投资回收机会和监测和核查费用；

(三) 可能取得的环境效益，特别是与气候相关的效益；和

¹ UNEP/OzL.Pro/ExCom/82/65 和 Add.1。

- (f) 请秘书处根据技术和经济评估小组就上文（e）段指出的各项问题相关的能源效率事项的报告²编制一份摘要（第 82/83 号决定），供执行委员会第八十三次会议审议。

对第 82/83 号决定第（e）段和第（f）段的分析

3. 第 82/83 号决定第（e）和（f）段包含缔约方会议的两项决定的具体段落：

- (a) 第 XXVIII/2 号决定第 22 段：请执行委员会在逐渐减少使用氢氟碳化合物时，制定与维持和/或加强低全球升温潜能值或零全球升温潜能值的替代技术和设备相关的成本指导，同时酌情注意到其他机构在解决能源效率方面的作用；
- (b) 第 XXX/5 号决定第 5 段：请执行委员会根据其目前正在进行的审查维修项目的工作，查明在维修行业维持能源效率的最佳做法、经验教训和其他机会以及相关费用；和
- (c) 第 XXX/5 号决定第 6 段：请执行委员会考虑到示范项目和独立项目提供的信息，以便制定在逐步减少使用氢氟碳化合物时与保持或加强替代技术和设备的能源效率有关的成本指导。

4. 结合上述决定的案文，第 82/83 号决定第（e）段和第（f）段的实质涵盖内容如下：

请秘书处为第八十三次会议编制一份技术和经济评估小组第 XXIX/10 号决定工作组关于与逐步减少使用氢氟碳化合物有关的能源效率问题的报告摘要（技术和经济评估小组工作组报告），使执行委员会能讨论：

- (a) 从氢氟碳化合物转换为低全球升温潜能值技术或零全球升温潜能值技术时，制定与维持和/或提高制冷、空调和热力泵设备的能源效率相关的成本指导，其中应：
- (一) 包括各项举措，例如量化能源效率变化的方法和与维持和/或加强能源效率相关的技术手段；
- (二) 包括相关的增支成本、投资回收机会和监测和核查费用；
- (三) 包括可能取得的环境效益，特别是与气候相关的效益；
- (四) 考虑到第 5 条国家采用低全球升温潜能值技术的示范项目以及执行委员会核准的氢氟碳化合物独立投资项目提供的信息；和
- (五) 酌情考虑处理能源效率问题的其他机构的作用；和

² 技术和经济评估小组 2018 年 5 月：第 XXIX/10 号决定工作组关于逐步淘汰氢氟碳化合物时与能源效率相关的问题的报告（第 5 卷）。

- (b) 在制冷维修行业逐步减少使用氢氟碳化合物时，利用目前正在进行的制冷维修行业计划的最佳做法、经验教训以及维持能源效率的其他机会，维持或加强能源效率。

5. 依照第 82/83 号决定 (e) 和 (f) 的规定，执行委员会第八十三次会议审议了载有技术和经济评估小组提交的与能源效率相关事项的摘要的报告摘要的第 UNEP/OzL.Pro/ExCom/83/42 号文件，并同意在为讨论与能源效率相关事项组成的联络小组讨论这份文件。嗣后，联络小组召集人在向委员会汇报时指出，由于时间不够，联络小组无法讨论该份文件。有鉴于此，委员会决定延到第八十四次会议审议这项问题（第 83/64 决定）。

文件范围

6. 提交给第八十三次会议的文件以技术和经济评估小组工作组 2019 年 5 月之前编写的报告为基础。嗣后，技术和经济评估小组工作组在 2019 年 5 月和 2019 年 9 月分别提出了报告的订正文本³。在审查 2019 年 9 月发布的最新报告时，秘书处注意到，该报告载有对与空调和独立商用制冷设备相关的能效的技术、可用性和成本方面的详细评估；该报告还删除了提交第八十三次会议的秘书处文件中的一些章节。鉴于技术和经济评估小组工作组报告所载的实质性补充信息有助于执行委员会讨论这一事项，因此，秘书处认为有必要修订提交第八十三次会议的文件（大多数补充信息都载于本文件附件二至附件六）。为了便于审查本文件，新的案文都被突出显示标明⁴，而被删除的案文都有“删除”标示。

7. 本文件是提交第八十三次会议的文件的更新版本，其中由以下几个部分组成：

- 第一部分： 摘要部分，涵盖技术和经济评估小组工作队根据第 82/83 号决定第 (e) 段和第 (f) 段提交的报告的各个主要部分
- 第二部分： 在逐步减少使用氢氟碳化合物的情况下引进能源效率和采用低全球升温潜能值技术和零全球升温潜能值技术
- 第三部分： 与维持和/或加强能源效率相关的技术手段
- 第四部分： 与成本相关的问题，包括相关的增支成本、投资回收机会和监测和核查费用
- 第五部分： 以 CO₂-当量表示的环境效益
- 第六部分： 介绍低全球升温潜能值技术的示范项目和氢氟碳化合物独立投资项目

³ 技术和经济评估小组 2018 年 9 月：第 XXIX/10 号决定工作组关于逐步淘汰氢氟碳化合物时与能源效率相关的问题的报告（第 5 卷）- 更新后的最后报告。

⁴ 为便于阅读，新的附件二至附件六的案文没有突出标示。

8. 本文件的组成还有以下六份附件：

附件一 技术和经济评估小组工作组报告中使用的附加一些解释的术语表（这份附件用于方便参照文件使用的术语）

附件二 使用不同制冷剂 and 具有不同能效水平的空调设备⁵

附件三 空调和独立商用制冷设备使用的中低全球升温潜能值制冷剂与能源效率相关的不同部件的可用性、成本和能源效率对气候区域的影响和应用的信息⁶

附件四 使用中低全球升温潜能值制冷剂的空调设备部件的可用性

附件五 使用中低全球升温潜能值制冷剂的空调和独立商用制冷设备部件的可用性

附件六 与生产使用易燃制冷剂的家用空调机的生产线和部件改变相关的新增成本以及节能制冷和空调设备的成本和性能分析⁷

9. 依照第 82/83 号决定（f）的要求，本文件所载信息摘自技术和经济评估小组工作组的报告，但对其内容作出一些编辑上的修改。⁸进行了一些编辑上的修改，并根据审查这份文件的一位独立技术专家的意见作出了说明和提供了补充信息。本文件没有依照技术和经济评估小组工作组报告的顺序提供信息。它也没有列入其他来源的信息，因为该决定没有提出这项要求。

10. 谨请执行委员会注意到以下两份充分讨论了第 XXX/5 号决定第 5 段的要求的文件，因此本文件未处理与制冷维修行业有关的事项：

(a) 关于与支持逐步减少使用氢氟碳化物的制冷维修行业有关的所有方面问题的初步文件（第 80/76 号决定第（c）段）（UNEP/OzL.Pro/ExCom/82/64）；和

(b) 关于执行缔约方会议第 XXVIII/2 号决定第 16 段和第 XXX/5 号决定第 2 段的方法的文件（第 82/83 号决定第（c）段）（UNEP/OzL.Pro/ExCom/83/40）。

11. 谨请执行委员会注意到，在第八十四次会议上，它将审议一份关于在逐步减少氢氟碳化物时可资利用的相关资金和调动资源以提高能效的金融机构的信息的文件（第 83/63

⁵ 它包括在不同市场中使用氟氯烃、高全球升温潜能值的氢氟碳化物以及中低全球升温潜能值的制冷剂的产品的信息。

⁶ 它包括在能源效率运行中使用中低全球升温潜能值技术的压缩机、热交换器、控制器和其他部件/产品性能改进措施的信息。

⁷ 它提供关于在空调和制冷设备中生产节能设备的资本成本范围、运行性能和成本分析的信息。

⁸ 技术和经济评估小组工作组的报告包括附件 A，其中载列与采用技术的特定行业相关的挑战的信息。大多数与附件 A 相关的信息载于本报告第三部分；有关采用技术的其他信息载于附件二至附件五。

号决定)⁹。该文件审议了其他机构在处理能源效率方面的作用；因此，此一事项没有列入本文件。

一. 技术和经济评估小组工作组报告涵盖的各个主要部分的摘要

12. 蒙特利尔议定书的执行工作历来着重于淘汰消耗臭氧层物质并同时提高设备和产品的能源效率。¹⁰在过渡到使用替代制冷剂期间，这个行业已经努力改善消费者能够负担得起的设备和部件的设计改进，并且这一努力在一段时间内已导致生产以较低通货膨胀调整价格的节能产品。由于需要制冷剂的技术改变，空调系统正在受到越来越多的关注，并且正在努力优化系统和部件，以便利用新的制冷剂来实现节能冷却。能源定价和计费方案以及能源标签等因素在节能技术采用中发挥着重要作用。

13. 提高能源效率的最大潜力来自改善整个系统的设计和组件，这可以提高效率（与基线设计相比）到 10% 至 70% 之间（以同类最佳组件而言）。制冷、空调和热力泵（RACHP）设备的综合设计和选取方法包括尽量降低冷却/加热负载、选择合适的制冷剂、使用高效组件和系统设计、在所有常见操作条件下优化控制和操作以及支持维修和维护功能的设计要素，这些因素有助于节约能源；这将导致在设备使用寿命期间减少温室气体（GHG）排放、降低最终用户的能源成本以及减少峰值电力需求，从而减少对发电和配电设施的投资。

14. 制冷剂的选取是对环境效益、安全性、热力循环效率、系统设计和可靠性以及成本之间的综合评定。制冷剂的选择对组件的能源效率产生的影响通常相对较小 – 一般为 +/- 5% 至 10% 之间。达到最低能效要求的空调和商用制冷设备广泛适用于所有制冷剂系列，包括各种氟氯烃¹¹；由于这种制冷剂将遭淘汰，无需为提高氟氯烃设备的能效进行任何研发。在市场和支助政策为替代制冷剂的选择提供明确信号的地方，制造商在保持或提高能效的同时，将投资于这些制冷剂的研发。因此，在能效方面的研发努力侧重于全球升温潜能值较低的制冷剂。在使用低全球升温潜能值制冷剂的空调和商用制冷设备中，用于提高能效的一些部件并不普遍，而用于中全球升温潜能值制冷剂的部件则更为普遍，因此，一些国家将其大部分消费转化为使用这些制冷剂。

15. 大多数有助于提高能效的设备的新技术不受知识产权考虑的直接影响。然而，对于来自有限数量供应商的技术、新出现的技术或科研技术，知识产权方面的考虑必须根据情况逐案确定。

16. 关于维持/提高能源效率的技术干预措施，高环境温度（HAT）环境对制冷剂的选取、系统设计和提高能源效率的潜在机会提出了额外挑战。在高环境温度情况下，由于热力学性质对制冷剂的选取、由于增加充填对安全的需求以及可用的部件和成本都对维持能源效率的系统设计产生影响。到目前为止，对在高环境温度条件下的研究表明，一些低全球升温潜能值替代品可为现有技术提供可进行比较的能源效率结果。进一步的研究以及私

⁹ UNEP/OzL.Pro/ExCom/84/68。

¹⁰ 蒙特利尔议定书的执行工作已逐步提高了能源效率；这在议定书获得通过以前就已实现。此外，蒙特利尔议定书的执行工作在许多情况下已加快能源效率的提高，因为制冷剂的改变也时常由于改善产品的设计而提升技术级别。

¹¹ 对有些技术，情况可能并非如此（例如，使用 R-290 的空调机）。

营部门的努力继续侧重于设计方面的优化，以便实现这些替代制冷剂所欲达到的效率。这份报告给出了在技术、财务、市场、信息、机构/监管、服务能力等方面的挑战以及可采取的缓解措施。多边基金供资的 PRAHA-II 项目正使用高效压缩机和热交换器重新测试优化后的机组，这些机组是从 PRAHA-I 使用的最初原型改造而来的。

17. 由于独立商用空调设备通常都被放置在有空调的商店内，高环境温度通常不是问题。然而，在第 5 条缔约方中，为防止在建筑物内产生额外热负荷，独立商用空调设备有时被放置在室外，因此，由于高环境温度，这将影响性能。

18. 各国制定了各种方法，利用已经设定的市场转型方案促进能源效率，包括最低能效标准（MEPS）方案和标签方案。在任何给定时间效率提高方案成本的“快照”倾向于对提高效率成本提供保守的（即较高）估计。在实际操作中，随着高效设备开始大规模生产，各种市场的高效设备价格随着时间的推移而有所下降。这尤其适用于小批量生产的设备，其中制造商快速吸收初始开发的成本并试图获得帮助他们销售其设备的某些“价格点”。

19. 由于将各种非能源相关功能与高效设备捆绑在一起、制造商的技能和专门知识的不同、制造商定价方面的差异、营销和品牌战略的不同以及效率可以作为“优质”功能进行营销的想法，这些因素使产品零售价格不能成为维持或提高新设备能源效率成本的适当指标。有关成本分析和投资回收期的信息表明，各种因素都影响着会有较高初始成本的设备的回报，并且这还存在着能源效率的上限，超过该上限，则在设备使用寿命期间的节能得到的回报就不具吸引力。可能需要严格的成本分析来充分了解提高能源效率产生的影响。在设置最低能效标准时，应进行这些类型的分析，因为若干能源效率水平需要与基线相比进行评估。这些研究可能需要一年以上的时间才能对单一产品类别作出评估。

20. 关于将独立商用制冷设备、冷凝机组、集中式和分离式系统以及空调和热泵设备过渡到低全球升温潜能值选项的资本和运营成本信息以及实现更高的能效技术方案和相关成本估算表明，一系列因素都影响着向替代性低全球升温潜能值制冷剂过渡和提高能源效率的总体成本。操作实践在设备的能效表现中发挥重要作用。

21. 制冷剂成本约占制冷和空调设备总成本的 1%。据预测，氢氟碳化物的成本将随着逐步减少使用而上升，使低全球升温潜能值制冷剂的成本更具竞争力。压缩机约占制冷和空调设备成本的 20%。技术进步可使效率提高 20%，但成本也会相应增加。“管翅”式热交换器通过使用小直径管提高效率；最近，改用微通道热交换器的速度正在加快，微通道热交换器的成本类似或略低（约 5%），效率提高 5%，制冷剂充注量减少约 40%。优化气流可以提高能效。风扇的功率和成本都逐步增加，导致成本增加和能效改善之间的复杂关系。其他各种技术的成本，包括减少灰尘沉积的自动清洁技术，都微不足道。随着生产或学习规模的增加，高效部件和设计的成本随着时间的推移而降低，高效设备的成本也随之降低。当这种情况发生时，提高能效的成本会在更短的时间内得到回报。

22. 在直接经济效益之外，除了降低消费者的能源成本、避免二氧化碳排放和避免高峰负荷，例如避免能源贫困导致的死亡率和发病率、舒适效益、避免 SO_x、NO_x 和微粒物质排放和避免 CO₂ 排放，还有各种提高能源效率的共同效益。对于不同的操作环境和天气条件，CO₂ 排放的影响可能不同。

23. 采用市场间测试和鉴定方法的通用标准将使制造商能够利用规模经济并加速技术准备。如果政府制定的测试和性能要求与其主要贸易伙伴或供应商不同，这可能会在经济上对该国不利，因为在该国会推迟采用节能的新技术。

24. 该报告没有提供关于监测和报告提高能源效率相关费用的详细信息，本文件也没有提供这方面的任何信息。

25. 最后，文件提供了关于到目前为止可获得的在淘汰氟氯烃的同时采用低全球升温潜能值技术的示范项目的信息。此外，由于根据第 78/3 号决定第 (g) 段核准的淘汰氢氟碳化合物的独立投资项目的结果尚未公布，因此提供了有关这些项目的清单。

二. 在逐步减少使用氢氟碳化合物的情况下引进能源效率和采用低全球升温潜能值技术和零全球升温潜能值技术

26. 蒙特利尔议定书的执行工作历来都着重于淘汰消耗臭氧层物质并同时提高设备和产品的能源效率。¹² 多边基金提供了财政和技术援助，以支持第 5 条缔约方实现其淘汰消耗臭氧层物质的目标。

27. 在淘汰家用制冷行业的氟氯化碳时，CFC-12 被碳氢化合物 R-600a 或 HFC-134a 所取代。最初使用碳氢化合物的混合物，但这导致能量成本的增加。R-600a 有较好的能源效率，因此成为除 HFC-134a 之外的优选选择。HFC-134a 具有类似的能源效率，但其全球升温潜能值较高，因此限用于对可燃性和相关赔偿责任的担忧是重要市场障碍的地区。

28. 在从 CFC-12 过渡时，业界主要通过改善压缩机和系统的设计，为提高能源效率做出了巨大努力。2015 年全球最佳实践冰箱的温室气体排放量比在非第 5 条国家销售的 80 年代典型冰箱的温室气体排放量低 9 倍。国内冰箱市场具有极高的成本竞争性，并通过大规模生产从规模经济中获益。2015 年高效冰箱的成本实际低于 20 世纪 80 年代的冰箱（图 1¹³）。

¹² 这种情况在文件第 10 段的脚注中作了解释。

¹³ https://appliance-standards.org/sites/default/files/refrigerator_graph_Nov_2016.pdf。

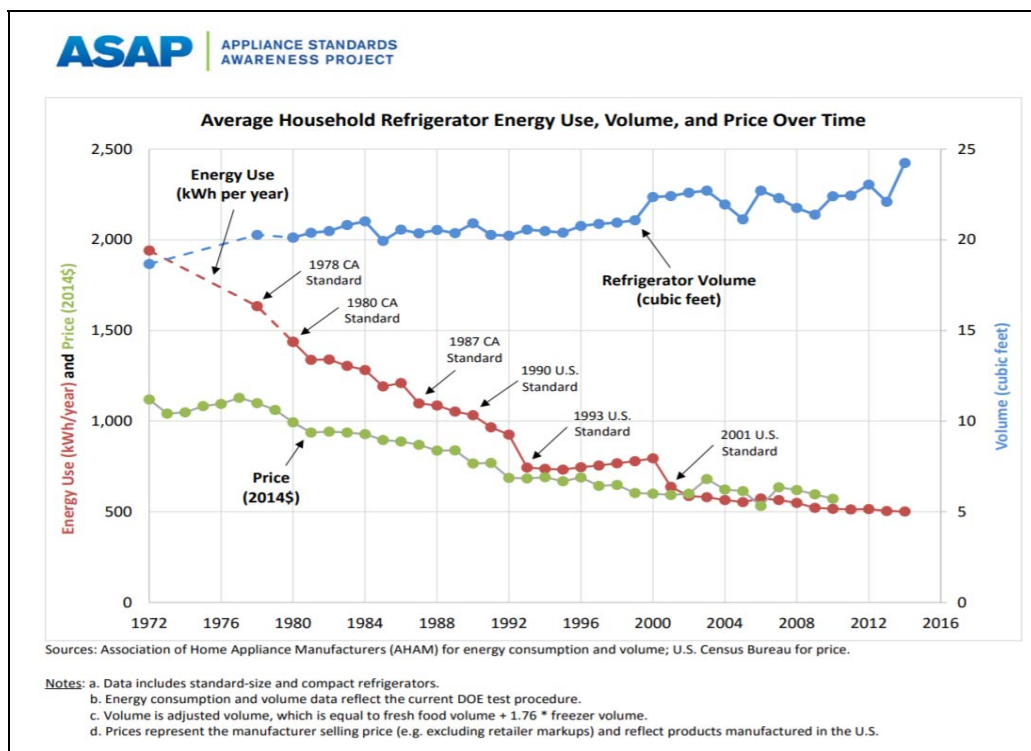


图 1. 美利坚合众国家用冰箱的平均能源用量、容积和价格

29. 自 20 世纪 70 年代以来，如图 2 所示，美国单体空调设备的演变表明效率稳步提高，同时实现成本效益。美国制造商降低了住户中央管道式空调系统使用的单体空调设备经通货膨胀调整后的价格（仅限设备成本）。¹⁴价格下降的趋势与消耗臭氧层物质的淘汰同时发生，并且定期提高效率标准。造成这种趋势的原因很复杂，包括技术创新和制造效率以及制造业全球化和商品价格趋势相关的宏观经济因素。随着效率标准的采用或标准的提高，调整后的设备价格没有上升。2010 年 HCFC-22 禁令没有对价格产生不利影响。

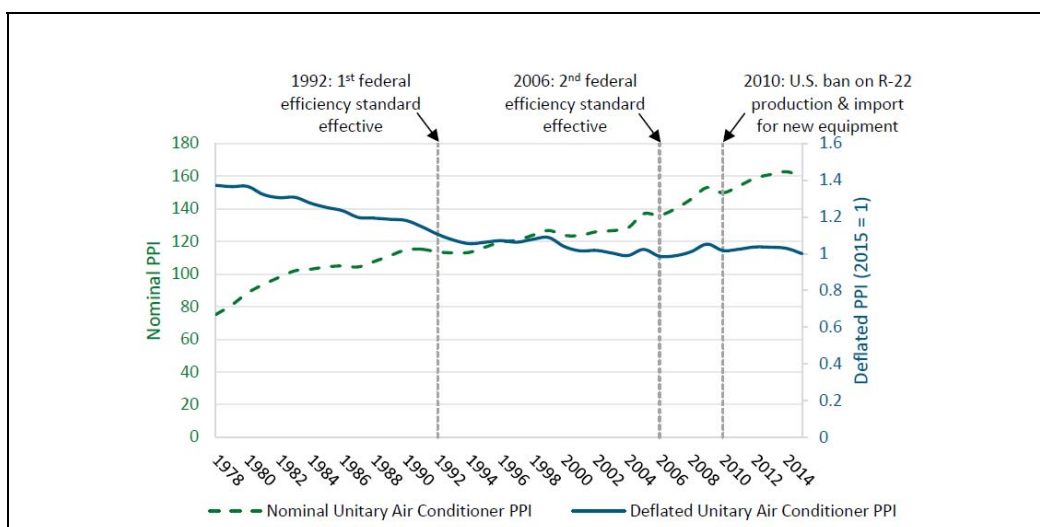


图 2. 1978 年至 2015 年家用中央空调设备成本[Goetzler 等人，2016 年]

¹⁴ 绿色点线代表生产价格指数（PPI），而蓝线代表经通货膨胀调整后的生产价格指数。对通货膨胀调整数的计算方法是将生产价格指数系列除以同年的国内生产总值链接的价格指数，并将其按照 2015 年的指数标准化。

30. 第 5 条缔约方仍在淘汰 HCFC-22。¹⁵HFC-32 已在许多国家推出。尽管 R-290 已在一些国家获得采用，并在能源效率方面具有优势，但在室内空调机方面使用 R-290 的一个主要障碍是其使用受限的可燃性评级。

31. 本文件附件二说明不同国家/地区的各种技术以及最低能效标准范围的可用性。关于附件二所载表格中提供的信息，将考虑以下定义的三个等级最低能效标准：对于每种制冷剂类别，可用性显示为广泛可用（粗体）、可用技术（普通字体）、新出现的技术（楷体字体）和不拥有（带下划线的普通字体）：

- (a) 低档：满足地区或国家最低能效标准要求的空调机组；
- (b) 中档：比基本最低能效标准的效率高 10% 的空调机组；和
- (c) 高档：比基本最低能效标准至少高 10% 的空调机组。

32. 在有最低能效标准的国家，氟氯烃主要存在于最低效率等级的组件，除少数例外，足以满足最低能效标准。高全球升温潜能值的氢氟碳化物，主要是 R-410A，在低档组件中随处可见。

33. 目前有各式各样的室内空调机正在销售，其能源效率从极低到极高，各有不同。能源效率的高低与容量或与购买价格的关系不大[Shah 等人，2017 年，Kuijpers 等人，2018 年]。室内空调器性能的优化需要对压缩机、制冷剂充注量和热交换器大小给予注意。与 HCFC-22 系统相比，对 R-290、HFC-32 和 HFC-161 进行的研究表明，无论使用何种制冷剂，优化的室内空调机的能源效率比（EER）都在 10% 以内，而在没有完整的系统优化的情况下，能源效率比的变化超过 10%。

34. 在某些国家，由于几乎长时间全年供冷，空调消耗的电力高达生产的电力的 70%。公众意识到空调对他们的财务造成的负担，因此可能更愿意采用监管和其他措施，通过使用功耗更低而更高效的系统来减轻负担。这不是补贴公用事业的情况，因此消费者的能源成本很低，这消除了提高能源效率系统包括安装这种系统的任何激励措施。

35. 另一个挑战是对家用、商用和工业用户用电的计费方案。有些国家对全天所有时段都使用一种结算费率，但会根据消费范围提高费率。虽然这种计费机制对家用客户相当合理，但对使用为地区供冷的高效工厂的商用/工业大客户十分不公，如果这种工厂没有被列入考虑的话。

36. 组件的能源标签和能源方案是朝着正确方向迈出的一步。大多数国家都有家用空调机和制冷设备的能源标签机制。设定能源标签和满足能源标准的挑战之一是测试和验证过程，以确保所述能效水平是真实的并且已获得验证。有关耗能标签和能源标准政策的更多信息，见技术和经济评估小组工作组报告第 4 节；由于这不直接属于本决定的范围，因此本文件中不包括能效政策和标签相关信息。

¹⁵ HCFC-22 的淘汰大都在制造业和维修业的空调应用。

三. 与维持和/或加强能源效率相关的技术手段

37. 为了供冷或供热，制冷、空调和热力泵设备和系统消耗能量，这在大多数情况下，都是电能。组件消耗的能量与需要提供的供冷/供热的负载量（供冷或供热服务量）以及为提供这种服务所需的能量有关。更多能源效率高的组件或系统将以较低的能耗提供相同数量的服务。¹⁶

38. 在设计和制造新设备时，最好能解决提高设备能源效率的问题。设计人员可以采用提供多种效益的适当节能功能，包括：

- (a) 在整个设备使用寿命期间减少与能源有关的温室气体排放；
- (b) 降低能源成本，为最终用户提供良好的经济效益；和
- (c) 减少峰值电力需求，通过减少发电和配电能力的需求提供潜在的经济效益，这意味着减少对发电机的投资、燃料的使用和运营成本的降低。

39. 通过对制冷、空调和热力泵设备的设计和选取采用严格的综合方法，这可以最大限度地提高能源效率的机会。这种方法包括：

- (a) 务必尽量降低供冷/供热的负荷；¹⁷
- (b) 选用适当的制冷剂；
- (c) 使用高效部件和系统设计；
- (d) 务必在所有共同运行条件下优化控制和操作；和
- (e) 设计便于进行维修和保养的功能。

40. 以下各段对这五项要求逐一进行讨论。

务必尽量降低供冷/供热的负荷

41. 消除或减少负荷可以显著降低能耗，同时仍能提供所需水平的供热或供冷能力。一些降低负荷的行动实例包括：

- (a) 降低夏季热吸收量的建筑设计（例如，遮阳板、屋顶反光材料、窗户位置、隔热板）；
- (b) 将柜门放在冷冻零售柜的上方；

¹⁶ 国际能源署对能源效率的定义为“管理和制约能耗增长的方式”。如果能以相同的能量提供更多服务或能以更少的能量提供相同服务，就具有更高能效。

¹⁷ 这能与更节能的设备的设计和选取直接相关，但由于其在降低整体能耗方面的重要性，因此它应在综合方法中加以考虑。

- (c) 在冷藏前对热的产品进行预冷（例如，在食品厂使用冷却塔的水对熟制品进行预冷）；
- (d) 减少蒸发器风扇、冷水泵或照明灯具等电气辅助设备产生的热量；和
- (e) 通过改善隔热设备和防止热空气通过敞开的柜门进入的办法减少冷冻储藏间的热负荷。¹⁸

42. 减少负荷可能需要额外的投资，例如增加隔热板、调整建筑物遮阳方向或在展示柜外壳加门。然而，由于例如较小尺寸的制冷系统和减少电力互连的等级，降低供冷负荷可以导致节省一些资本成本。¹⁹

选用适当制冷剂

43. 制冷剂的选取是对环境效益、安全性、热力循环效率、系统设计和可靠性以及成本之间的综合评定。制冷剂的选择对组件的能源效率产生的影响通常相对较小 – 范围在+/- 5%至 10%之间。设计人员应从效率角度选用最佳制冷剂，但也应考虑到其他各种设计问题。同样重要的是要注意到，为高全球升温潜能值制冷剂提供提高能源效率机会的技术也可能适用于低全球升温潜能值制冷剂。²⁰

44. 简化的热力学分析表明不同的制冷剂对组件的能源效率产生的相对影响，这可以帮助设计人员制定一份选项的“短名单”。对于给定的应用，以能源绩效而言，有限数量的制冷剂可能在基准制冷剂的±5%范围内。热力学分析提供了一个有用的起点，但必须考虑“真实世界”的绩效，这是制冷剂与各种系统组件特别是压缩机和热交换器交互作用的方式。这可通过比较用于小型室内空调机的 HCFC-22 和 R-410A 来加以说明。热力学分析显示出 HCFC-22 的效率优势，但目前市场上最有效的设备使用 R-410A。这反映出《蒙特利尔议定书》开始淘汰氟氯烃后，设备制造商就停止进行研究和开发来改善 HCFC-22 设备。现代 R-410A 设备具有许多 HCFC-22 没有的效率创新，这使 R-410A 达到更高的效率。对 HFC-32 进行的热力学分析表明，与小型建筑使用的空调相比，它具有比 R-410A 高约 5%的优势。

45. 与 HCFC-22 相比，对丙烷（R-290）的热力循环分析显示，根据蒸发温度的不同，制冷性能系数（COP）损失从-2%到 0%不等。但是，R-290 的体积容量始终低于 HCFC-22，约 14%。对 HCFC-22 设备中的 R-290 进行直接测试表明，与标准评级条件下的 HCFC-22 相比，制冷性能系数增加了 7%，容量减少了 8%。这主要归功于 R-290 与 HCFC-22 的运输性能的改善。通过工程优化，R-290 等各种 HCFC-22 替代品可以达到或超过现有 HCFC-22 组件的性能，效率的提高可高达 10%。

46. 空调、取暖及制冷协会的替代制冷剂评估方案²¹提出了 67 份关于替代制冷剂评估的报告和一份关于使用 A2L 制冷剂相关风险基准的研究。替代制冷剂的性能范围很广，

¹⁸ 减小冰箱大小。例如，家用冰箱的选取不应大于所需，冷藏库的选取也不应大于规定。

¹⁹ 减少供冷负荷通常都会导致成本降低。

²⁰ 提高能源效率的技术一般也适用于低全球升温潜能值制冷剂。

²¹ 替代制冷剂评估方案。

这取决于研究类型（直接使用或软优化）、设备和基准制冷剂。总体而言，HCFC-22 替代品与基准 HCFC-22 相比，其能力表现结果相似，在 $\pm 10\%$ 以内，但效率范围在 -20% 至 -5% 之间。R-410A 替代品的容量和效率范围为 $\pm 15\%$ ，而 R-404A 替代品的容量范围为 -20% 至 -5% ，效率提高至 10% 。

47. 美国能源部（US DOE）的研究重点是分体式空调机和箱型空调机，并将评估范围扩大到 55°C 的环境条件。该研究表明，HCFC-22 氟化替代品在 35°C 评级条件下导致 3% 至 14% 的容量损失和 11% 至 16% 的效率损失，在 55°C 时，导致 3% 至 14% 的容量损失和 7% 至 15% 的效率损失。但是，在 35°C 的评级条件下，R-290 的容量损失为 7% ，效率提高为 11% ，在 55°C 时，容量损失为 10% ，效率提高为 8% 。R-410A 替代品显示，在 35°C 评级条件下，容量差异范围从 -14% 到 5% ，在 55°C 时，从 -3% 到 13% ，效率差异范围在 35°C 为 $\pm 5\%$ ，在 55°C 时，高达 6% 。

48. 迄今为止的研究集中于与目前使用的消耗臭氧层物质和高全球升温潜能值氢氟碳化物技术相比的低全球升温潜能值替代制冷剂的性能。这些研究使用了“软优化”的充注和挥发装置的现成产品。此外，还需要进行研究，以便了解使用低全球升温潜能值替代品的新产品在压缩机、热交换器和其他组件作出改变进行全面优化后的影响。

49. 就空调设备而言，可燃性等级为 A2L 和 A3 的制冷剂面临一些挑战，因此，要求各国将其纳入当地法规。²²HFC-32 和 R-290 可从世界各地的几家供应商处获得。对 R-290 的需求或多或少是稳定的，目前的生产已经满足了需求。HFC-32 也是如此，尽管最近需求有所增加。然而，与 R-410A 相比，对这两种制冷剂的需求仍然很小。

50. 商业制冷使用的制冷剂仅限于 HCFC-22、R-404A 和 HFC-134a。随着许多国家开始采用 CO_2 、使用碳氢化物（R-600a 或 R-290）的装置和 HFO 混合物（基于 HFO-1234yf 的混合物），这种情况正在发生变化。²³

使用高效部件和系统设计并确保优化的控制和操作

51. 蒸汽压缩制冷、空调和热泵设备由许多主要部件（例如，蒸发器、冷凝器、压缩机、膨胀阀、制冷剂）和次要部件（例如，风扇，泵和冷却塔）组成。为了达到最大的能源效率，重要的是：选用适当的“系统设计”来界定整个系统的布置和运作温度；并选取可以提高系统效率的个别组件。控件可被视为制冷、空调和热泵系统的另一个组成部分，但将系统的控制和操作视为一个单独问题会对设计人员有帮助。就成本而言，作为一般规则，有效的控制技术可说提供了一个具有成本效益的能源效率策略。

52. 设备的设计在于达到标称设计点，即达到在最热的预期环境条件下的峰值供冷负荷。²⁴该设计点可被视为“最坏情况”下的负荷条件。在实际情况下，大多数系统每年只有非常少的时数接近这个设计点。大多数时候，天气凉爽时供冷负荷较低。在一个控制良好的系统中，能源效率应在设计点之外的条件下有所改进。例如，在天气凉爽时，冷凝温度

²² A2L 级是易燃性低的制冷剂（如 HFC-32）；A3 级是易燃性高的制冷剂，如碳氢化物（如 HC-290、HC-600a）；A2 级制冷剂是易燃性在 A2L 和 A3 之间的制冷剂，但其可用性尚不显著。

²³ 据报告，氢氟碳化物制冷剂在商业制冷中的使用量也非常小。

²⁴ 设备的设计也围绕着标称设计点，包括最高效率的操作点。

应该下降，这会显着提高效率；在控制不良的系统中，这些改进不会发生，并且当压缩机在部分负载的情况下运行时，效率还可能降低。

53. 以下例子可以说明与系统设计、组件和优化控制相关的提高能源效率的情况：

- (a) 在适当温度进行冷却：为了最大限度地提高效率，制冷、空调和热力泵系统应在最高可能的温度进行冷却。蒸发温度提高 1°C，效率就可提高 2% 至 4%。一种常见的设计是将多个冷却负荷聚集到一个冷却系统上，即使每个负荷的温度要求不同。蒸发温度必须适应最冷的负荷 - 这意味着较暖的负荷正在低效冷却。将各种负荷按不同温度分开的系统设计可以显着提高效率，但这需要建立多个系统的额外成本。另一个例子是选择空间冷却系统中冷冻水的温度 - 使用较高的温度可为相同的冷却负荷提供更好的效率；²⁵
- (b) 压缩机：系统设计人员考虑适合给定负荷的最佳压缩机数量。对于非常小的系统，各有一台压缩机。不过，对于较大的系统而言，选用几个小型压缩机而不是一个大型压缩机可能更为有效，这需在额外的资本成本和由此产生的节能之间做出综合评定。这对在部分负荷运行情况下支持高能效尤为重要。压缩机需要针对选用的制冷剂和预期操作的条件（蒸发和冷凝温度）进行优化。两台尺寸和成本相似的压缩机的效率差异可达 20%。选择良好的组件可以在很少或没有额外成本的情况下提高效率。当冷却负荷例如由于环境条件变化而下降时，压缩机需要在部分负荷下运行，因为负荷低于系统的标称设计点。在小型系统上，这通过开关来控制，而在大型系统则使用压缩机负载调节器来完成，例如往复式压缩机的气缸卸载或螺杆压缩机的滑阀。这些都是提供部分负荷控制的低效方式。变速驱动器（例如，逆变器）的最新进展使使用变速压缩机成为可能，通常它可提高超过 25% 的效率；
- (c) 热交换器的选择：设计人员应选用具有最低实际温差的热交换器，以优化蒸发温度（应尽可能高）和冷凝温度（应尽可能低）。²⁶目前已经采用了具有管道和翅片设计的小口径管道热交换器。这旨在提高传热率和能源效率，尽管设计人员还必须考虑更高压降的影响。这可减少热交换器的内部容量，使得减少所需的制冷剂量成为可能。微通道热交换器也已被开发出来，这提供了另一种设计选择。
- (d) 冷凝器压力控制：许多制冷、空调和热力泵系统都有“头压力控制阀”，它在寒冷天气可停止冷凝器的压力下滑。通过设计改进，可以消除或最小程度地使用这种控制阀。例如，通过使用电子膨胀阀代替目前使用的恒温膨胀阀，头压力控制阀的设置可以大大地降低。大约 20% 的节能是可能达到的。
- (e) 辅助泵和风扇的控制：许多系统都使用风扇来循环有待冷却的空气或使用水泵来循环冷却水。在传统上，这些都是速度固定的设备，其设计适合标称设计负荷。制冷和空调系统冷侧的辅助负荷是“两次付费”，因为除了运行水泵或风扇外，它还产生制冷系统必须排除的额外热负荷。在部分负荷下，这些

²⁵ 这可能需要体型更大和成本更高的热交换器。

²⁶ 热交换器的选用几乎一直都是一个技术-经济的选择过程。选用的热交换器越大，对能效的影响越高。

辅助负荷可能成为总功耗的不成比例的大部分。通过使用变速驱动器的办法，风扇和水泵都可在部分负荷的情况下减速运行。

- (f) **设备的其他改造、照明和高能效操作的重新设计：**导致热负荷减少和高能效操作设备的其他各种干预措施，包括使用防雾玻璃、低热负荷灯泡（如发光二极管灯泡）、改善设备中的气流、其他尽量降低热负荷的干预措施（如柜门、扇门和盖子）和泄漏控制。

54. 技术和经济评估小组报告提供了空调和独立商用空调设备压缩机和其他部件的市场演变以及这些设备中低全球升温潜能值制冷剂的能效相关不同部件的可用性、成本和能效影响及其在气候区域的应用的信息。附件三、四和五分别提供了这一信息。

表 1 总结了欧洲最低能源绩效标准所代表的“基础案例”中的一系列组件设计改进所提高效率。

表 1. 根据欧洲运行条件提高能源效率选项和相应节省的能源

选项	说明	基础案例的改进 (%) [*]	
		最低	最高
待机负荷	减少待机负荷 ²⁷	2	2
高效压缩机	双级旋转式压缩机，带有直流**电机的高效涡旋压缩机	6	19
逆变器/变速	交流***、交流/直流或直流逆变器驱动的压缩机	20	>25
高效热交换器	高效微通道热交换器，更大尺寸的热交换器	9	29
膨胀阀	恒温电子膨胀阀	5	9
曲轴箱加热	减少曲轴箱加热功率和持续加热时间	9	11

(*) 多项措施的累计效率提高不等于所有单个组件效率提高的总和。

(**) DC：直流电。

(***) AC：交流电。

设计便于进行维修和保养的功能

55. 在选用新设备时，设计人员应考虑维修和维护问题，并提供有助于确保系统的整个使用寿命期间能维持良好能源效率的功能。正确的维修和保养始于设备的正确安装和调试。不良的安装和启动会大大降低设备的能源效率，并且在设备的后续使用寿命期间无法恢复这种损失。良好的监控和控制系统可以帮助工厂操作人员或维护技术人员检查性能并纠正任何浪费能源的缺失。最好将仪表和传感器作为新系统的一部分包括在内，而不是在以后添加它们。

²⁷ 使用的电力只用于维持必要的控制组件运行，以备提供系统服务，提供服务的级别一般不会受到制冷负荷的影响。

高环境温度的考虑因素

56. 高环境温度的环境还对制冷剂的选取、系统设计和提高能源效率的潜在机会提出了挑战。在高环境温度情况下，由于热力学性质对制冷剂的选取、由于增加充填对安全的需求以及可用的部件和成本都对维持能源效率的系统设计产生影响。到目前为止，对在高环境温度条件下的研究表明，一些低全球升温潜能值替代品可为现有技术提供可进行比较的能源效率结果。加强公共资助的研究以及私营部门的举措都正在优化设计，以便在这些具有挑战性的条件下实现最高的能源效率。

57. 在高环境温度条件下提高能源效率的最有效方法之一是增加冷凝器的大小。不过，这会增加制冷剂充注量和系统成本。需要检查过渡对可燃性、毒性和操作压力的影响。标准和规范制定机构正在努力使新一代低全球升温潜能值制冷剂替代品获得采用。

58. 与“开/关”式压缩机相比，变速装置（VSD）也能在高环境温度条件下提高能源效率。当温度在 24 小时内有很大波动时，变速装置会带来最大的好处。然而，即使气温波动很小，在“肩”季节（春季和秋季）仍会有很大的节约。变速装置的一个特点是其更接近建筑物的日冷负荷/需求曲线，这与“开/关”式压缩机的阶梯式方法相比，节省了成本。

59. 关于制冷剂是否适用于高环境温度条件的讨论导致进行了几个大规模测试项目，在这些项目中，使用中低全球升温潜能值制冷剂的原型机被制造出来，并在超过 35°C 的环境温度中进行测试。这些测试的结果是确定了几种制冷剂，它们在高环境温度条件下提供了可以相比的能效。PRAHA 是一个多边基金供资的项目，其第二阶段（PRAH-II）的工作将使用根据原型机改造的高效压缩机和热交换器对优化后的机组重新进行测试。

60. 由于独立商用空调设备通常都被放置在有空调的商店内，高环境温度通常不是问题。然而，在发展中国家，为防止在建筑物内产生额外热负荷，独立商用空调设备有时被放置在室外，因此，这将影响性能。业界主导者已体验到，在高环境温度条件下，室内环境温度比非高环境温度条件下的室内环境温度高大约 5°C（Topten 的未公布数据）。然而，温度的这种升高不足以对产品的能效产生影响。

61. 下面表 1 总结了关于高环境温度对能源效率产生的影响的各种考虑因素。

表 1. 高环境温度对能源效率的影响的各种考虑因素

考虑因素	说明	高环境温度的影响	特别措施
选取制冷剂	热力学性质和可燃性特性	接近临界温度时效率降低 限制大量制冷剂充注	选取制冷剂
系统设计	冷却负荷、冷凝温度和压力	较大的冷却负荷导致设备加大 较高的冷凝温度和压力	系统测试（破裂压力、密封、功能）以考虑在保持效率的同时使用更高的操作压力
制造	设计和建造需要考虑到更高的压力	需要特殊设计和特殊组件，以满足高环境温度条件下的能源效率	本地制造商不断提高设计和制造能力
维修	较高温度和压力下进行维修	系统故障和丧失效率的风险	技术员培训
安全	规范	由于较高的热负荷，每个使用空间的制冷剂量 增加充注的限制	风险评估

采用高能效技术的挑战

62. 目前，在制冷、空调和热力泵行业已有更节能的设备和系统可用。例如，对不同类型空调机的能效的研究发现，最好的空调机的能效比全球市场上的普通空调机的能效高两到三倍。这表明使用市场上制冷、空调和热力泵行业已有的设备极有可能大幅节能。采用更加严格的标准、标签和其他各种形式的市场转型政策（例如，刺激、采购或奖励措施）会减少能源已经非常宝贵的国家的能源需求。

63. 与低效产品相比，高效产品通常 - 但并非总是 - 具有更高的前期成本。这部分是因为高能效机型通常都将其他与能源无关的功能捆绑在一起，作为优质产品销售。²⁸与能效较低的产品相比，能效较高的产品的市场价格差异范围也更大。采用过于严格的效率标准可能会在无意中提高价格，如果不审慎处理，通常会与空调制造商的步骤一起变化。为了尽量减少最低能源绩效标准等市场措施产生的不利影响，制定这些措施时应考虑到长期目标，并应配合相关行业的技术发展和投资周期的步伐进行。

64. 以下类别阻碍了采用能源效率措施：技术、财务、市场、信息、机构和监管、维修能力等。表 2 载有这些阻碍和缓解措施。

表 2. 采用高能效技术的挑战和消除这些挑战的手段

障碍	说明	缓解措施	执行 (年数)
技术	可能根本没有用于评估、衡量和验证能源效率的测试设施，或缺乏足够的资源或没有满足需求的能力。当地制造商可能缺乏制造高能效设备的技术能力。知识产权可能是制造高能效部件的障碍	安装适当的测试设施 为本地制造商提供培训和能力建设 知识产权的技术转让或设计合资方案/合作研发	1-3
财务	高能效设备的生产成本一般比低能效设备高。高能效的组件时常与其他功能捆绑在一起并以高价出售。 ²⁹ 财务成本起着重要作用。	低成本融资、电费补贴方案、批量采购方案、购买者俱乐部和其他类型的采购方案	1-2
市场	设备的购买者可能与设备的使用者不同，例如，租赁房屋。这可能是购买更高能效设备的障碍，因为购买者没有这样做的动机。	对购买高能效设备的人给予激励	0.5-1
信息	最终用户可能没有关于有能效设备或其效益的信息。能源效率指标可能过于技术化或难以理解。可以通过强制或自愿标签方案、星级评等或其他类型的教育和宣传方案来部分解决这类障碍。	强制或自愿的能源效率标签方案、宣传和推广和教育活动	0.5-1
机构/监管	可能没有关于能源效率的立法、监	制定适当的立法和监管框架、设计	2-4

²⁸ 高能效产品成本的一个重要方面是组件昂贵。

²⁹ 研究表明，随着时间推移和生产规模的扩大，大多数市场的高能效设备的价格已经下降。然而，在任何特定时间，即使整个市场都在朝向提高能效，但最高效的设备仍倾向于以高价出售。

障碍	说明	缓解措施	执行 (年数)
	管框架不存在或薄弱、标准不严或无法执行或缺乏执行能源效率相关活动（如标准或标签）的技术能力。	适当的评估、衡量和核查机制、建立监管机构和决策者的能力、统一最低能源绩效标准	
维修能力	能效高的设备可能需要使用最新技术，这需要技术人员拥有新的技能。如果所选设备所需的技能与服务提供商的能力之间存在差距，则可能不应使用高能效设备。	为维修技术人员举办培训课程	1-3
其他	可能存在对高能效产品的误解，即它们可能存在质量和/或保养或其他性能标准方面的问题 ³⁰ 。	进行有关节能设备的效益包括投资回收期的宣传和教育活动	0.5-1

四. 与成本相关的问题，包括相关的增支成本、投资回收机会和监测和核查费用

65. 提高能源效率的经济效益已有详细记载，并因设备类型、应用、天气、时间和当地因素，如贴现率、使用小时数、电价、输配电损失而有所不同。³¹

66. 最常提到的提高能源效率的好处是能源、成本和减少温室气体以及对空间供冷时降低峰值负荷。向低全球升温潜能值制冷剂过渡将进一步增加这些节约。³²

67. 此外，还避免了因能源贫困而导致的发病率和死亡率、生病天数减少、舒适度提高、污染降低（SO_x、NO_x 和微粒物质）以及避免 CO₂ 排放。据估计，这些共同效益可为提高能源效率的直接节能效益提供额外 75% 至 350% 的额外效益。³³

计算资本和运营成本的方法

68. 各方已制定了提高能源效率的市场转型方案，包括最低能源绩效标准和标签方案。例如，美国能源部的家用电器和设备标准方案以及欧盟生态设计指令的准备性研究都使用基于数据收集、测试和高效设备建模的“自下而上”的工程分析来确定提高效率的实际制造成本（相对于零售价格）。这种“自下而上”的方法通常使用业界标准设备设计软件³⁴和高效设备的测试数据，从代表市场低效或平均效率的“基础案例”模型确定高效设备的设计选项。随后，通过访问业界专家、制造商和零部件供应商的方式，调查这些高效设计方案的成本，以便建立高效设备的成本蓝图。

69. 这种方法提供了在任何给定时间提高效率的“成本快照”，并为提高效率的成本提供了一个保守的估计数（即较高的估计数）。在实际操作中，随着高效设备开始大规模生

³⁰ “未经证实的可靠性”是因为这些产品是市场上的新产品；安装人员、客户等可能不愿意使用新技术。

³¹ 美国能源情报署估计，2016 年新发电机的平均建造成本约为 2,000 美元/千瓦的容量，即如果把融资成本包括在内，每个新发电厂的成本超过 20 亿美元。<https://www.eia.gov/electricity/generatorcosts/>。

³² 这能与采用高能效产品同时完成。

³³ Üe-Vorsatz 等人，2014 年。

³⁴ 例如，[Fridley 等人，2001 年] used the Oak Ridge National Laboratory (ORNL) Heat Pump Design Model, Mark V, version 95d [ORNL, 1996 年；Fischer & Rice, 1983 年；Fischer 等人，1988 年]。

产，各种市场的高效设备价格随着时间的推移而有所下降。这尤其适用于小批量生产的设备，其中制造商快速吸收初始开发的成本并试图获得帮助他们销售其设备的某些“价格点”。

70. 类似的进程也已被用于更有限的程度，以支持中国和印度等国的能源效率标准程序。虽然这种方法一般可用于估算制造商为具有制造能力的第 5 条和非第 5 条缔约方维护和/或提高能源效率的成本，但对所有缔约方来说，消费者维持和/或提高能源效率的成本很可能与需要运输费用的进口缔约方相似。

数据收集

71. 由于企业运营的专属性质，制造商公开提供的用于提高制冷、空调和热泵设备的资本和运营成本的数据有限。此外，纵观在全球市场零售的设备的价格和能效都表明具有类似能效的设备的价格差异很大，指出零售价格本身并不是说明维持和/或提高新设备能源效率成本的好指标。

72. 下文介绍为制定方法而收集的若干数据实例。³⁵

- (a) 零售价格不足以说明维持和/或提高能源效率的成本：图 3 提供了中国一个小型单元式变速空调机的例子，其供冷能力为 3.5kW，能源效率约为 4.5 瓦特比瓦特（W/W）（按全年能源消耗效率（APF）指标计算）。³⁶零售价格从大约从 500 美元到 2,000 美元不等，即差价达四倍（400%）。这种单一效率级别大幅差价的情况也出现在多种冷却能力、多个效率级别以及固定速度和变速的空调机；

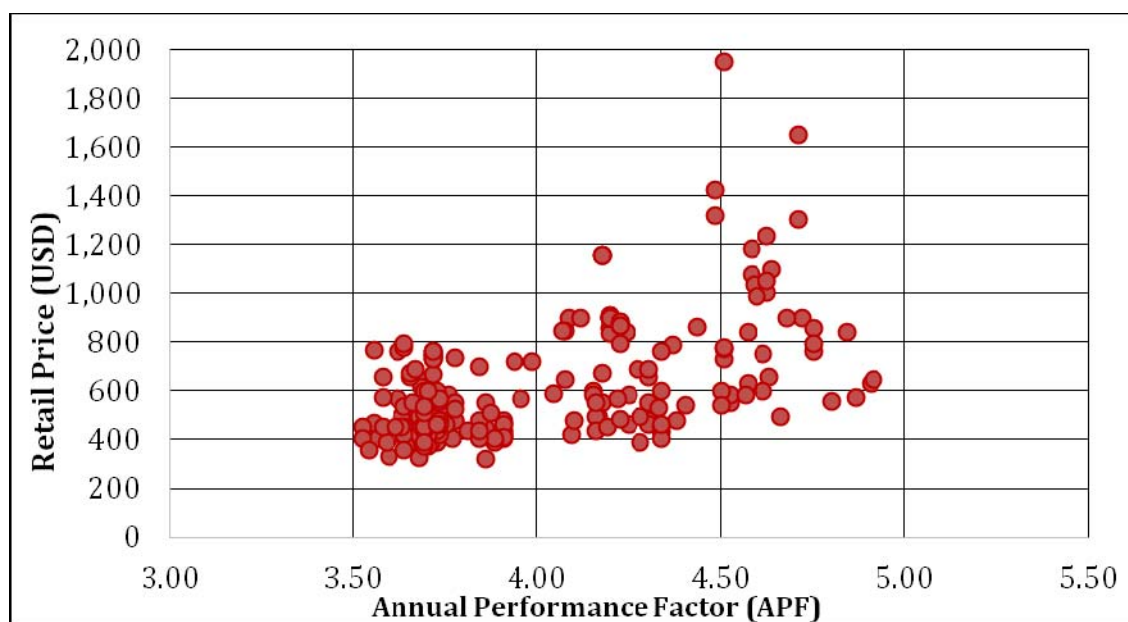


图 3. 中国市场 3.5kW 小型分体式空调机的零售价格与能效的关系。

资料来源：Shah, Park 和 Gerke, 2017 年

³⁵ 文件介绍了技术和经济评估小组工作组根据收集的数据编制的报告提出的成本评估方法。

³⁶ 劳伦斯伯克利国家实验室的国际高效家用电器数据库和中国标准化研究院数据库。

- (b) 对日本空调机市场的回顾表明，市场上的空调机都具有较高的能源效率范围。虽然能源效率与单价之间存在有力的联系，但在特定能效级别的价格仍存在很大差异。图 4 表明将 HFC-32 作为制冷剂运行的所有 3.5 kW 空调机的价格与能源效率之间的关联。价格上涨幅度约为每能效（APF）点 603 美元。

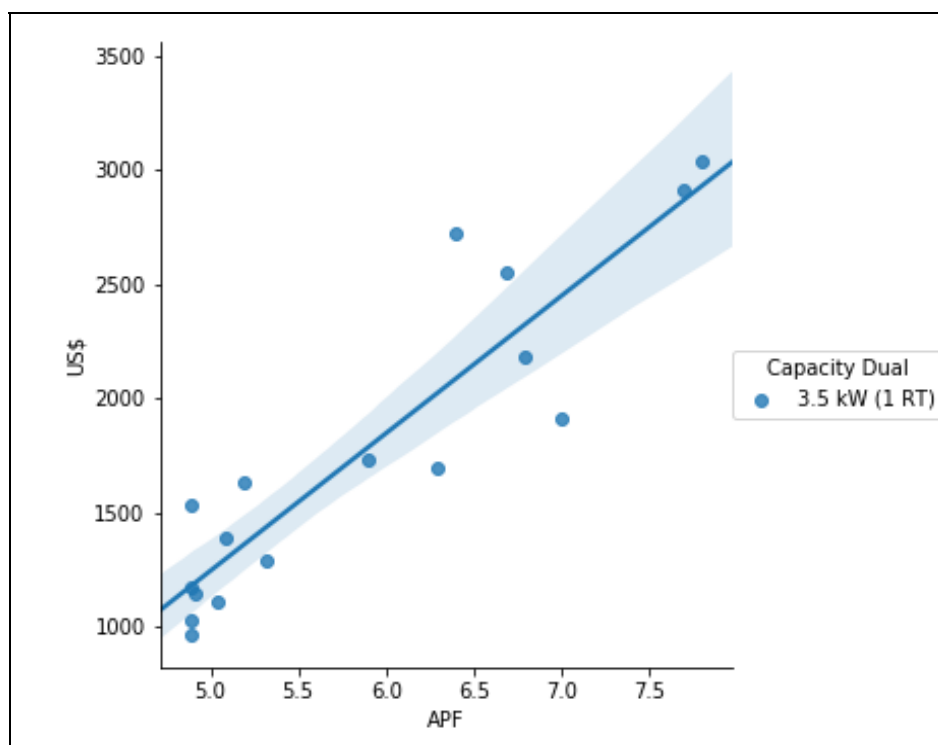


图 4. 日本市场小型分体式空调机零售价格对比能源效率（APF）的调查

- (c) 各种提高能效方案的成本和节省的能源：表 3 显示印度 5.27 kW 小型分体式空调机的各种组件的能效提高方案以及“基础案例”型号预期达到的节能量及其相应单位成本。

图 3. 印度 5.27 kW 小型分体式空调机的提高能效方案、节省的能源和制造成本

技术	节省的能源 (%)	增支制造成本 (美元 ³⁷)
改进的压缩机	5.5 – 15.0	1.43 – 12.27
变速压缩机	21.0 – 23.0	25.67 – 115.54
风扇和压缩机的变速驱动器	26.0	44.93 – 134.79
热交换机的改进	7.5 – 24.0	10.48 – 156.90
膨胀阀	3.5 – 6.5	1.78 – 32.09

- (d) 效率随着和不随改变制冷剂的价格上涨：在中国，一个使用 R-410A 的 3.5 kW 变速空调机的能效提高约 13-15%，其价格上涨约 6%。不过，当能效

³⁷ 1 美元=70.11 印度卢比。

和制冷剂都得到更新时（即能效提高 5-8%和 R-410A 改为 HFC-32），价格上涨约 11%。

73. 技术和经济评估小组工作组估算了使用易燃制冷剂的制造设备所需的额外资本成本，它与制造使用两种基准制冷剂 R-410A 和 HCFC-22 和容量不超过 10 kW（冷却/加热）的小型分体式空调机以及使用基准制冷剂 HCFC-22 的独立商用空调设备的成本进行比较。技术和经济评估小组工作组对使用 R-410A 或 HCFC-22 制冷剂的制造生产线转化为使用易燃制冷剂的制造生产线所需的额外成本估算信息见下表 4。

表 4：工作组对从使用 R-410A 或 HCFC-22（高全球升温潜能值、不易燃）的生产线转换为使用易燃制冷剂的最大额外成本估算

项目/说明 ³⁸	次级项目	超过使用基准制冷剂 的最大额外成本 (%)
更换生产/装配线	为实现更好能效使用较小口径管道的热交换机设备 ^{39*}	100%
	制冷剂充注组件	30%
	改变测试区（电源板、管道配件）	30%
	改变充注区，包括制冷剂罐和配件	100%
	制冷剂在厂区内分配	100%
	劳动力成本	15%
充注和测试区的安全要求	通风系统	30%
	控制系统	30%
	测漏系统	30%
	防静电地板	不固定
	运行和维修安全系统的劳动力成本	不固定
知识产权/技术诀窍成本	知识产权/专门知识成本	不固定
	设计-软件开发*	不固定
	修改和改变测试设施	50%
	对职工进行安全培训	10%
	外部顾问和专家*	不固定
物流和装卸	改建易燃制冷剂储存区的成本	200%
	陆海货运成本	不固定
	制冷剂在厂区内的分配	不固定
	工厂和职工的额外保险费用	不固定
	监管机构的审定合格费用	20%
	职工培训	30%
	管辖方的培训	30%
	对公司内外的认识	30%

(*) 为能效（突出显示的单元格）提供机会。

74. 技术和经济评估小组工作组还详细介绍了使用易燃制冷剂生产家用空调设备的生产过程所需进行的修改和/或更换。所需成本详情见本文件附件六。

³⁸ 使用 R-410A 制冷剂的制造生产线不需要有些次级项目。

³⁹ 较小口径管道的热交换机都能使用 R-410A 和 HFC-32 制冷剂。

消费者对不同能效级别空调设备的成本和投资回收期

75. 表 5 显示使用上述来自美国能源部规则制定文件⁴⁰的方法计算小型分体式空调机基准级别以上的四个能效级对消费者在寿命周期的成本（零售价加安装成本加上设备使用寿命期间的能源成本）和投资回收期（节省的能源超过高安装成本的时间）。高能效水平都会产生高安装成本，但会导致低寿命运行成本。数据表明，在当前的技术发展阶段，由于能效的上限，在设备使用寿命阶段，节省的能源不够支付高昂的安装成本。

表 5. 美利坚合众国各种能效级别的小型分体式空调机对消费者的安装成本、寿命周期成本和简单的投资回收期

季节能源效率比 (W/W)	2015 年平均成本(美元)			简单投资回收期 (年)	平均使用寿命 (年)
	安装成本	使用期间操作成本	使用周期成本		
4.1 (基准)	3,714	4,758	8,472	不详	15.3
4.3	+38	-93	-55	4.5	15.3
4.4	+105	-189	-84	4.8	15.3
4.7	+259	-295	-36	8.2	15.3
5.6	+1,105	-602	+503	16.6	15.3

76. 表 6 显示约占印度全部市场 90% 的三个能源效率级别（2 星级、3 星级和 5 星级）的普通 5 kW 空调机的使用周期成本细目。制冷剂只占使用周期成本微不足道的一部分（不到 1%）。2、3 和 5 星级空调机的使用周期成本分别为 1,672 美元、1,704 美元和 1,540 美元。这表明，当系统价格从 2 星级增加到 5 星级时，使用周期成本的净节省数额为 131.22 美元。

表 6. 印度不同能效级别的 5 kW R-410A 空调机以百分率表示的使用周期成本细目⁴¹

级别	系统价格	制冷剂价格	安装成本	使用期间能源成本
2 星级	25.9	0.5	1.3	72.3
3 星级	30.9	0.5	1.3	67.4
5 星级	42.8	0.7	1.4	55.1

77. 对独立、垂直、封闭、透明的展示柜设备类⁴²，表 7 显示在不同能效水平下的生命周期成本节约⁴³，其办法是使用上述方法从最近的能源部规则制定文件中计算出高于基本能效水平的七个能效水平及其相应的年度能源使用估算值。高能效水平都会产生高安装成本，但会导致低寿命运行成本。数据表明，在标准制定时间框架（约 2013-2014 年）内的技术发展水平上，能效顶点在效率水平 2、3 和 4 左右⁴⁴，此时节能将为消费者带来最大利益。

⁴⁰ <https://www.regulations.gov/document?D=EERE-2014-BT-STD-0048-0098>。

⁴¹ 技术和经济评估小组第 XXIX/10 号工作组报告的图 2.15 转换成表格表示。

⁴² 这是能源部用来监管商用制冷设备的 49 类不同设备类别之一。

⁴³ 技术和经济评估小组工作组报告（2019 年 9 月）第 3.5.1 节对这种方法作出说明。

⁴⁴ 能源部在与技术、设计选项和设计选项组合相对应的每个规则制定过程中考虑各种效率水平，以提高在制定标准时在技术上可行的能效。

表 7：使用能源部的方法计算的不同能效水平下的生命周期成本节省。在制定规则时，每个能效水平对应一个可能的设计选项

级别	年度能源使用 (kWh/yr)	平均值			生命周期成本节省				中位回收期 (年)
		安装成本 2012 年 美元	年度运行 成本 2012 年 美元	生命周 期成本 2012 年 美元	平均生命 周期节省 2012 年 美元	客户成本 (%)			
						净成本	无影响	净效益	
1	10,022	6,498	1,270	19,135	2,503	0.0	10.1	89.9	0.5
2	6,727	6,799	970	16,433	5,200	0.0	10.1	89.9	0.8
3	6,654	6,822	964	16,397	4,709	0.0	0.0	100	0.8
4	6,318	6,974	921	16,110	4,996	0.0	0.0	100	1.0
5	6,262	7,003	917	16,105	5,001	0.0	0.0	100	1.1
6	6,174	7,073	913	16,127	4,979	0.1	0.0	99.9	1.2
7	5,857	8,909	948	18,294	2,812	10.8	0.0	89.2	4.7

资本和运营成本

独立商用制冷设备

从高全球升温潜能值的氟氯烃和氢氟碳化合物过渡到使用低全球升温潜能值的选项需要对制造和设备作出一些投资。当过渡到易燃制冷剂如 A2L 或 A3 制冷剂时，尤其如此。一般而言，来自实地的数据表明，与传统系统相比，消费者使用 R-290 独立系统的成本可在 0% 至 5% 之间变化。较高的成本（如果有的话）通常可以通过这些新系统消耗较少的能源得到补偿。

落实其他各种提高能效的想法的成本从少量成本（如 LED 照明）到使用变速或高效压缩机的大量成本都有。投资回报取决于相应地区的电力成本，但由于大多数地区对这些系统进行监管，因此预计市场将会采用降低成本的方法来实现所需的最低能效。

根据选用的制冷剂的不同，过渡到低全球升温潜能值的制冷剂的选项将使运营成本从 0% 提高到 10%。与 HCFC-22 相比，采用 R-290 制冷剂可使电费降低 5-10%。变速风扇、压缩机，LED 等其他改进方法，在已经作出改进的情况下，将进一步降低所需的功耗。

冷凝机组

从高全球升温潜能值的氟氯烃和氢氟碳化合物过渡到使用低全球升温潜能值的选项需要对制造和设备作出一些投资。⁴⁵当过渡到易燃制冷剂如 A2L 或 A3 制冷剂时，尤其如此。通过更好的绝缘来降低热负荷，特别是在立柜式冷却机和冷冻机中，使用 LED 灯具以及其他一些提高能效的设施，都可以降低首付资本成本并在设备的整个使用寿命期间获得好处。同样，投资回报取决于当地的电力成本，它可能因地而异。法规在提高能效的做法方面发挥着关键作用。

⁴⁵ 以冷凝机组而言，预计数额不会很高，因为这些设备通常不在工厂充注。对设计可能作出一些更改，并且可能需要一些用于安全的组件。

根据选用的制冷剂，预计从高全球升温潜能值的氟氯烃和氢氟碳化合物过渡到低全球升温潜能值的选项可以减少或保持同样的能源成本。通过更好的绝缘来降低热负荷，特别是立柜式冷却机和冷冻机，以及使用 LED 灯具是一些能提高能效从而降低功耗的实例，这能导致降低运行成本。

集中式和分布式系统

市场驱动的经济使制造采用高效方法的许多集中式和分布式系统成为合理做法。在 R-744 系统的情况下，对于级联式亚临界系统而尤其是跨临界系统而言，资本成本已经阻止了这些系统得到广泛采用，特别是在温暖的气候条件下。最近对欧洲一家拥有 10 个冷藏库的小商店进行了研究，⁴⁶将分布式 R-290 系统与跨临界 CO₂ 系统进行了比较。与跨临界 CO₂ 系统相比，R-290 系统的效率每年提高约 5%，资本成本降低约 25%。为了提高 CO₂ 系统的性能，可以增加喷射器或并联压缩机，但初始（购买）成本将会增加。

在 R-744 系统的情况下，对于级联式亚临界系统而尤其是跨临界系统而言，与 R-404A 相比，运行成本持平到略高。虽然 R-290 架构可用于小型商店，但在制冷系统更大的商店很难证明这一点。

空调和热泵行业

有些技术被证明是成本中性的，例如先进的热交换器设计、旋转式压缩机和可变容量离心式压缩机。由于规模经济，例如微通道热交换器和电子膨胀阀等，还有其他导致成本溢价的因素可以随着时间的推移而降低，或仍然维持高成本要素，例如用于室内和组合式空调机的可变容量压缩机。

以前的研究表明，低全球升温潜能值的 HFC/HFO 混合物可以很容易地被用来代替 R-410A，而同时能维持或提高制冷、空调和热泵系统的性能。但是，HCFC-22 的替代性低全球升温潜能值制冷剂和制冷剂混合物无法轻易地与性能匹配。Shen 等人在 2017 年进行的后续研究⁴⁷表明，通过工程优化，HCFC-22 替代品可以达到或超过现有 HCFC-22 装置的性能，效率提高达 10%。

表 7 显示美国能源部规则制定文件中的一个例子，说明要使整个美国业界四个效率等级的小型分体式空调机达到更高效率所需的资本成本。

⁴⁶ http://www.emersonclimate.com/europe/en-eu/About_Us/News/Documents/FFR196-Emerson_Fact_sheet_Integral_Display_Case_Technology_EN-1711.pdf

⁴⁷ Shen B, Abdelaziz O, Shrestha S, Elatar A. 2017 年 "Model-based optimization of packaged rooftop air-conditioners using low-GWP refrigerants," International Journal of Refrigeration, ISSN 0140-7007, 见 <https://doi.org/10.1016/j.jirefrig.2017.10.028>。2018 年 5 月 12 日查阅。

表 7. 整个业界转换各个能效等级的资本成本⁴⁸

季节能源效率比 (W/W)	资本转换成本 (百万美元)	出货数量 ⁴⁹ (百万机组/年)
4.2	61.0	6.5
4.4	205.6	6.5
4.7	337.9	6.5
5.6	373.0	6.5

提高能源效率的技术手段和相关成本结构

下文表 8 总结了提高能源效率的技术手段和相关成本的结构。

表 8. 总结提高能源效率的技术手段和相关成本结构

设备类型	基准组件	技术手段	能源效率提高	相关成本
全部	蒸发温度	优化蒸发温度	提高 1°C 提升能效 2—4%	少
全部	控制装置	改进控制装置	10—50%	少—中
室内空调机	热交换器	加大热交换器或使用先进设计（小径管道或微通道热交换机）	9—29%	少—中
	压缩机	双级旋转式压缩机，带有直流电机的高效涡旋压缩机	5—19%	中
		交流、交流/直流或直流逆变器驱动的压缩机	20—30%	中
	膨胀阀	恒温或电子膨胀阀	5—9%	少
	待机负荷	减少待机负荷	2%	少
大型组合式空调机	压缩机	使用多个压缩机优化部分负荷性能	达 20%	中
	压缩机	使用交流、交流/直流或直流逆变器驱动的压缩机	20—30%	中—高
	热交换器	加大热交换器或使用先进设计（小径管道或微通道热交换机）	9—29%	少
	曲轴箱加热	优化曲轴箱加热	9—11%	0
	-	故障检测和诊断	达 30%	少
商用制冷	冷凝器压力控制	最小化头压力控制阀（用电子膨胀阀代替恒温膨胀阀）	达 20%	少
	压缩机	变速控制装置或高效可变速容量控制装置	达 25%	中
	辅助风扇和泵组	用于辅助风扇和泵组的变速控制装置	达 10%	少
	其他控制装置	按需除霜和调节吸入压控制装置	达 10%	少
	曲轴箱加热	优化曲轴箱加热	9—11%	0

⁴⁸ 试验标准水平 1、2、3 和 4 分别对应于 2 吨小型分体式空调机的季节性能效比 (SEER) 为 14.5、15.0、16.0 和 19.0 BTU/hr/W。对于各种产品类别，这些“试验标准水平”的定义不同。（资料来源：2016 年，能源部）。

⁴⁹ 2015 年总出货量包括在美利坚合众国发运的所有类型中央空调机和热泵系统。

五. 以 CO₂-当量表示的环境效益

78. 尽管《基加利修正案》的重点是节能制冷剂，⁵⁰但业界继续重新设计系统以提高能源效率，并改进建筑物的设计，降低热负荷。这些做法会减少充注到空调系统中的制冷剂，减少制冷剂的排放。

间接排放产生的能源效率影响

79. 有几种方法可以估算一个系统的总排放量。最常用的方法是变暖影响总当量（TEWI）⁵¹和寿命周期气候性能（LCCP）方法，它试图通过评估制冷、空调和热泵系统从“摇篮到坟墓”的整个生命周期来量化对全球变暖的总体影响。

80. 提高能源效率的最大潜力来自改进设计和组件，这能使效率提高 10% 至 70%，⁵²而在大多数情况下，改用制冷剂提高效率在 5% 至 10% 之间。计算国家或地区层面使用寿命周期的排放量需要几个步骤和假设，例如产品的使用寿命、制冷剂的选择和泄漏，这些都超出了能源效率对环境效益的考虑。能源效率产生的环境效益可有 1,000 倍的变化，这取决于使用的时数和发电产生的排放。

81. 以 CO₂ 当量计算制冷、空调和热泵设备能源效率产生的环境效益包括以下三个步骤：

- (a) 确定设备类型（例如，无管道分体式空调机，3.5 kW 冷却能力）、根据国家或地区当前市场或给定设施制造的组件确定基线模型单位能耗并确定有待评估的能源效率改进；
- (b) 根据基线组件的能耗和使用的时数计算高效机型节省的能源。使用时间因国家、气候和用途而异；在某些情况下，国家标准将使用时数界定为能源效率指标的一部分（例如，印度的季节性能效比定为每年使用 1,600 小时）。由于安装或保养不当，安装后的设备的实际能源绩效可能低于设计的效率。由于效率提高的程度是与基准组件相比，因此，这种方法假设由于安装或保养不良或高温导致的性能下降会对基准组件产生可比较的影响，因此相对的节能仍得以维持。如果由于电费成本较低，致使效率较高的组件使用时数增加，这种“反弹”行为会减少节能；和
- (c) 通过乘以发电的最终用途排放因子，将节能转换为 CO₂ 当量。空调机往往在一天中最热的时候运行，并往往与高峰电力需求的时刻相吻合；因此，使用“边际排放”因子可能更准确，因为这些因子代表产生电力以满足峰值需求的发电机的碳强度。边际发电的碳强度高于还是低于年排放因子取决于该国的电网构成。然而，随着更多可再生能源的增加，趋势是朝向降低边际排

⁵⁰ 这载于逐渐减少使用氢氟碳化物的案文中。

⁵¹ 有时，可以通过忽略一些更广泛的影响来简化变暖影响总当量（TEWI）的计算，其中包括制冷剂和设备的制造以及设备除役后制冷剂和设备的处置方法。这些因素产生的影响都很小。

⁵² 当本报告提到能源效率的改进时，我们将改进的设计所使用的能量与基线设计所使用的能量进行比较。例如，如果系统 A 使用 10 个单位能量而系统 B 使用 8 个单位能量，则效率提高 20%。

放因子。

82. 在家用制冷行业，使用目前的技术，家电通过提高能源效率节省的费用从 55% 到近 70% 不等。在这种情况下，假设冰箱每天 24 小时运行，并且高环境温度不会影响设备的性能，因为它们都放置在室内温度受控的环境中。

83. 用于商用制冷时，有非常高的节能潜力。在某些情况下，如开放式相对于密闭式冷冻柜和冷却器，节省的费用可在 70% 至 80% 之间。冰淇淋冻柜的能量消耗在 25°C 和 31°C 时加以测量在高环境温度情况下，能耗增加 13%。不过，能耗仍远低于效率不高的直立式冻柜。这表明在高环境温度的条件下，设备的选择还是至关重要。

84. 表 8 总结了具有特定产品能源效率级别的室内空调机在特定使用时数每年以千瓦时计算的节省能量（与基准组件使用的能量相比，较高效率水平为 10-20%，最高效率水平为 40-50%）。

表 8. 室内空调机组节省的能源

案例*	确定具体产品基准组件的能耗和效率提高					计算高效机型的节能	
	使用时数/年	组件类型/冷却能力 (kW)	基准空调机单位使用能源 (kWh/yr)	较高能源效率	最高能源效率	较高能源效率(kWh/yr)	最高能源效率(kWh/yr)
极低案例 a (极少时数、极低电力排放因子)	350	分体式机组/3-4 kW	266	20%	50%	53	133
低案例 b (少时数、低电力排放因子)	1,200	分体式机组/3.5 kW	1,355	20%	50%	271	678
高时数 c (高时数、中等电力排放因子)	2,880	分体式机组/3.5 kW	2,965	10%	40%	297	1186
高排放因子 d (中等时数、高电力排放因子)	1,600	分体式机组/5.275 kW	1,300	10%	40%	130	520
最高案例 e (高时数、高电力排放因子)	2,880	分体式机组/5.275 kW	5,759	25%	40%	1,440	2,304

(*) 五个案例代表了在全世界气候区和排放因子的实际情景中可以找到的情况。⁵³

a 欧洲用于供冷的小时数 (Topten.eu)；Topten.eu 的单位能源使用低效率 (266 kWh/yr) 和最高效率 (122kWh/yr)。

b 联合效率倡议的阿根廷国家评估的使用时数和基准空调机组能耗 (2016 年 12 月)；基于 Topten.eu 的改进百分比。

c 联合效率倡议的泰国国家评估的使用时数和基准空调机组能耗 (2016 年 12 月)；基于印度 BEE 的 3 星级和 5 星级样机的改进百分比；泰国的排放因子。

d 印度季节能源效率比 (ISEER) 标准和 BEE 的 1 星级机组使用时数和基准空调机组能耗；印度 BEE 的 3 星级和 5 星级样机的改进百分比。

e 使用时数为 360 天每天 8 小时；基准机组 2.6 W/W 能源效率比通过将容量除以能源效率比乘以时数转换为能耗；中等=3.5 能源效率比和最高=4.5 能源效率比。

⁵³ 技术和经济评估小组工作队的报告提供了 CO₂ 排放影响。

85. 在热泵情况下，表 9 列出了代表在全世界气候区的实际情景中可以找到的情况的四种案例的热泵机组的节能情况。

表 9. 热泵机组节省的能源

案例*	热泵机组的能耗								能源效率 的改进 (%)
	基准案例				最佳可得技术				
	热泵 (GJ)	电力后备 机组 (GJ)	共计 (GJ)	共计 (kWh/y)	热泵 (GJ)	电力后备 机组 (GJ)	共计 (GJ)	共计 (kWh/y)	
寒冷气候和低排 放因子	12.31	7.97	20.28	5,633	12.62	2.6	15.22	4,228	25
寒冷气候和中等 排放因子	12.31	7.97	20.28	5,633	12.62	2.6	15.22	4,228	25
温暖气候和中等 排放因子	3.23	0.336	3.566	991	2.95	0.104	3.054	848	14
温暖气候和高排 放因子	8.08	2.48	10.56	2,933	6.42	0.4	6.82	1,894	35

(*) 四个案例代表了在全世界气候区和排放因子的实际情景中可以找到的情况。⁵⁴

86. 在移动式空调方面，根据一些包含高效空调信用的客车燃油经济标准的报告，温室气体排放影响被视为潜在效益指标，其范围自 0.9 克 CO₂-eq/km 至 6.1 克 CO₂-eq/km 不等。

六. 采用低全球升温潜能值技术的示范项目和氢氟碳化合物独立投资项目

87. 在第七十四次、第七十五次和第七十六次会议上，执行委员会根据第 XXV/5 号决定和第 72/40 号决定，批准了关于分区供冷的 3 项可行性研究⁵⁵和示范低全球升温潜能值技术的 17 个项目。⁵⁶

88. 表 10 总结了根据第 72/40 号决定核准的示范项目得到的能效信息，但其中不包括制冷维修行业项目。

表 10: 采用低全球升温潜能值技术的可行性和示范项目

国家	项目名称 (编号)	供资 (美元)*	会议	更新执行进度情况
制冷和空调和组装次级行业				
中国	福建雪人股份有限公司工业和商业制冷行业氨半密封变频螺杆制冷压缩机示范项目 (CPR/REF/76/DEM/573)	1,026,815	82	该报告提到，具有制冷能力 56.7 kW、167.1kW 和 216.3kW 的系统的项设计的新系统的制冷性能系数 ⁵⁷ 分别为 1.57、1.63 和 2.94。

⁵⁴ 技术和经济评估小组的报告提供了 CO₂ 排放影响。以千兆焦耳 (GJ) 表示的信息是年度能耗量。

⁵⁵ 多米尼加共和国、埃及和科威特。

⁵⁶ 包括：7 个制冷和空调及装配次级行业项目（中国、哥伦比亚、哥斯达黎加、科威特、沙特阿拉伯（2 个）、1 个全球（阿根廷和突尼斯）和区域（西亚）项目；6 个泡沫塑料行业项目（哥伦比亚、埃及、摩洛哥、沙特阿拉伯、南非和泰国）；3 个制冷维修行业项目（马尔代夫、欧洲和中亚地区）以及 1 个全球项目（东非和加勒比地区）。

⁵⁷ COP – 制冷性能系数。

国家	项目名称（编号）	供资 (美元)*	会议	更新执行进展情况
哥伦比亚	示范 HC-290（丙烷）作为 Industrias Thermotar 公司商用空调制造的代用制冷剂（COL/REF/75/DEM/97）	500,000	81	报告提到 R-290 5-TR ⁵⁸ 分体式机组（R-290 涡旋式压缩机）比类似的 R-410A 机组消耗的能量（kWh）少 13.1%。
哥斯达黎加	Premezclas Industriales S.A 公司应用氨/二氧化碳制冷系统代替中型生产商和零售店 HCFC-22 的示范项目（COS/REF/76/DEM/55）	524,000	82	最后报告指出，比较 2017 年 10 月/11 月（安装新制冷系统之前）和 2018 年 1 月/2 月（安装新制冷系统之后）的平均每月账单显示平均每月账单下降 10.23%。预期在系统稳定和操作完善后能耗减少将达 20%。
沙特阿拉伯	空调生产商使用低全球升温潜能值制冷剂开发窗式空调和组合式空调示范项目（SAU/REF/76/DEM/29）	1,300,000	83	示范项目的实施结果显示 HFC-32 和 R-290 在 52℃ 的能源效率比比 R-410A 高；当室外温度从 35℃ 上升到 52℃ 时，所有制冷剂的能源效率比均下降。
沙特阿拉伯	在高环境温度下空调行业推广低全球升温潜能值的氢氟烯烃制冷剂示范项目（SAU/REF/76/DEM/28）	796,400	暂缺	最后报告有望提交第八十五次会议
区域（西亚） PRAHA-II	向西亚高环境温度国家推广制冷剂替代物（PRAHA-II）（ASP/REF/76/DEM/59 和 60）	700,000	暂缺	最后报告有望提交第八十四次会议
泡沫塑料行业				
哥伦比亚	通过研制成本效益高的配方在第 5 条缔约方验证氢氟烯烃用于间断板的示范项目（COL/FOA/76/DEM/100）	248,380	81	没有直接报告能效的结果；不过，结果显示使用与水共吹的 HFO-1233zd（E）和 HFO-1336mzz（Z）的配方的热传导率类似于以 HCFC-141b 为基础的配方。
埃及	小型用户转型为非消耗臭氧层物质技术聚氨酯泡沫塑料的低成本备选办法的示范项目（EGY/FOA/76/DEM/129）	295,000	83	报告没有提供有关设备能效的信息。 更新后的报告已提交第八十四次会议
摩洛哥	小型和中型企业的聚氨酯泡沫塑料转型为非消耗臭氧层物质技术时使用低成本丙烷泡沫技术的示范项目（MOR/FOA/75/DEM/74）	280,500	暂缺	
沙特阿拉伯	关于淘汰氟氯烃的示范项目，即用氢氟烯烃作为发泡剂，用于高环境温度下喷雾泡沫的应用（SAU/FOA/76/DEM/27）	96,250	暂缺	最后报告有望提交第八十四次会议
南非	非连续面板厂从 HCFC-141b 改装为戊烷中真空辅助注射的技术和经济优势示范项目（SOA/FOA/76/DEM/09）	222,200	81	没有直接报告能效的结果；不过，结果显示热传导率类似于 HCFC-141b。
泰国	利用低全球升温潜能值发泡剂	352,550	83	没有直接报告能效的结果；不过，这

⁵⁸ TR – 制冷吨。

国家	项目名称（编号）	供资 (美元)*	会议	更新执行进展情况
	配制喷涂聚氨酯泡沫塑料用途预混多元醇的配方厂家示范项目（THA/FOA/76/DEM/168）			项结果显示使用与水共吹的 HFO-1233zd（E）和 HFO-1336mzz（Z）的配方的热传导率略高。这在改进配方时能有改变。
分区供冷的可行性研究				
多米尼加共和国	蓬塔卡纳分区供冷的可行性研究（DOM/REF/74/TAS/57）	91,743	81	这个项目的-一个主要效益是提高能源效率；没有提供实际能效绩效。**
埃及	新开罗分区供冷的可行性研究（EGY/REF/75/TAS/127 和 128）	27,223	82	报告载有分区供冷结构的技术经济可行性和投资回收计算。没有提供实际能效绩效。**
科威特	比较供中央空调使用的三种非同型技术的可行性研究（KUW/REF/75/TAS/28 和 29）	27,223	82	报告载有分区供冷结构的技术经济可行性和投资回收计算。没有提供实际能效绩效。**

* 这个数值没有包括项目编制费和机构支助费用。

** 技术和经济评估小组工作组报告指出，同传统空调系统相比，分区供冷系统的电力需求减少 55%至 62%，耗能减少 40%至 50%。

89. 表 11 列出迄今获得核准的 10 个独立氢氟碳化合物投资项目。虽然需要在最终报告中提供重新设计的设备的能效表现，但到目前为止仍没有关于这些项目的结果。

表 11. 迄今核准的独立氢氟碳化合物投资项目

国家	机构	项目名称
阿根廷	工发组织	在 Briket、Bambi 和 Mabe-Kronen 制造家用和商用制冷设备以异丁烷（R-600a）/丙烷（R-290）为基础的制冷剂更换 HFC-134a 的转换项目
孟加拉国	开发计划署	在 Walton Hi-Tech Industries Limited 将制造家用冰箱的 HFC-134a 转换为制冷剂异丁烷以及将使用 HFC-134a 的往复式压缩机转换为高效压缩机（异丁烷）。
中国	开发计划署	将一家家用冰箱制造商（海信科龙）使用的 C5+HFC-245fa 转换为 C5+HFO。
多米尼加共和国	开发计划署/加拿大	将 Fábrica de Refrigeradores Comerciales, SRL (FARCO)商用冰箱生产线使用的制冷剂 HFC-134a 和 R-404A 转换为丙烷(R-290)
约旦	工发组织	将 Petra Engineering Industries Co.生产供冷达 400 kW 的大型商用单元式房顶空调组件的设施的制冷剂 HFC (R134a、R-407C、R-410A)转换为丙烷 R290
黎巴嫩	工发组织	将 Lematic Industries 家用制冷使用的 HFC-134a 和 HFC-404A 转换为 R-600a 和 R-290
墨西哥	工发组织	将 Imbera 商用制冷的两个设施使用的制冷剂 HFC-134a 和 R-404A 转换为丙烷(R-290)和异丁烷（R-600a）
墨西哥	开发计划署/加拿大	将 Mabe Mexico 家用制冷生产设施的制冷剂从 HFC-134a 转换为异丁烷和将压缩机制造设施基于 HFC-134a 的制冷剂转换为基于异丁烷的制冷剂。
泰国	世界银行	将 Pattana Intercool Co. Ltd.生产商用制冷设备使用的制冷剂从 HFC 转换为丙烷(R-290)和异丁烷(R-600a)
津巴布韦	开发计划署/法国	将 Capri (SME Harare)生产家用冰箱的制冷剂从 HFC-134a 转换为异丁烷

建议

90. 执行委员会在其讨论第 XXVIII/2 号决定第 22 段和第 XXX/5 号决定第 5 段和第 6 段的执行方法时，不妨审议技术和经济评估小组在 UNEP/OzL.Pro/ExCom/84/69 号文件中提出的有关与第 82/83 号决定（e）指出的各项问题相关的能源效率事项（第 83/64 号决定）的最新报告摘要。

附件一

本文件使用的术语表

APF:全年能源消耗效率（见季节能源效率比）

制冷性能系数（COP，有时为 CP 或 CoP）：对于热泵、冰箱或空调系统，这是为所需工作提供有用的加热或冷却的比率。较高的制冷性能系数等同于较低的运营成本。

冷却能力：衡量系统散热的能力。以 kW、Btu/h 或制冷吨（RT）衡量的制冷能力，其中 $1 \text{ RT} = 3.5 \text{ kW} = 12,000 \text{ Btu/h}$ 。

供冷/加热负荷：加热或冷却到所需服务水平所需的能量。改善建筑物的隔热能力是减少加热和供冷负荷并同时为用户提供相同水平的舒适性的策略。

制冷性能系数 (COP)：制冷性能系数是供冷能力和系统能耗之间的比率。制冷性能系数也用于热泵，在这种情况下，它是指供热能力和系统能耗之间的比率。

CSPF：季节供冷能源消耗效率（见季节能源效率比）。

设计效率：设备设计的或出货的能源绩效，与品牌效率相同。

能源效率(EE)：能源效率是一个设备或过程的一个属性，可以高也可以低。

能源效率比(EER)：在满负荷（即最大供冷能力或设计点）时测量的供冷输出除以电能输入的比率，以 W/W 或 Btu/h/W 测量（ $1 \text{ W} = 3.412 \text{ Btu/h}$ ）。

能源绩效：一台设备或系统执行特定服务水平所消耗的能量。本报告提到的能源效率的改进是将改进的设计所使用的能量与基线设计所使用的能量进行比较。例如，如果系统 A 使用 10 个单位能量而系统 B 使用 8 个单位能量，则效率提高 20%。

HSPF：季节供热能源消耗效率（见季节能源效率比）

安装效率：设备安装时的能源绩效。

ISEER：印度季节性能源效率比。

千瓦时(kWh)：以单位工作或能量表示的电量，以 1 小时消耗 1 千瓦（1,000 瓦）的功率计算。1 kWh 等于 3,412 英国热量单位（Btu）或 3.6 MJ。

制造成本：制造设备的成本。

百万吨油当量（Mtoe）： $1 \text{ Mtoe} = 116.3 \text{ 亿 kWh}$

标称设计点：代表用于设计系统的一组条件（例如，室内和室外温度）。

运营成本：设备使用者操作设备的成本。

部分负荷操作：当系统必须面对低于标称值的负荷时所发生的情况（标称条件用于系统设计）。制冷、空调和热泵系统通常在其生命周期的大部分时间都在部分负荷条件下运行。

峰值负荷：电网在给定期限内所需的最高电力需求。

提高能源效率百分比：与基准组件相比，高效组件的能耗变化百分比。

制冷吨（RT）：冷却能力的测量，其中 1 吨等于 12,000 Btu，相当于在 24 小时内使 2000 磅水结冰所需的能量。1 RT = 3.52 KW。

零售价格：购买设备的价格。

季节能源效率比(SEER)：在完全和部分负荷下，供冷输出除以电能输入的比率，并通过加权以表示在每个给定国家的一般供冷季节天气的设备的整体性能。季节能源效率比又可称为**季节供冷能源消耗效率（CSPF）**。**季节供热能源消耗效率 (HSPF)**用于供热模式。**全年能源消耗效率（APF）**是用于加热和冷却可逆热泵室内空调机的指标。

单位能耗：单位设备通常一年消耗的能量。

变速驱动器（VSD）：一种电动机控制器，通过改变提供给电动机的频率和电压来驱动电动机，也称为逆变器。

Annex II

AVAILABILITY OF AIR-CONDITIONERS OPERATING WITH DIFFERENT REFRIGERANTS AND AT DIFFERENT EE LEVELS

Table 1: Availability of technology options for AC: Energy Efficiency vs. refrigerants - Low Tier

Low Tier Energy Efficiency Meeting MEPS	Regions	HCFC	High-GWP HFC	Medium and low GWP
	Australia & New Zealand (ANZ)	<u>Aus. & NZ: Not Available</u>	45% of the market is R-410A in the low and mid-tier efficiency ranges	53% of the market is HFC-32 units more weighted towards the higher efficiency tiers 1% of the market is HC-290 in the low tier
	Oceania & PIC	Around 5% of the market	Papua New Guinea / Fiji/ Solomon Islands: R-410A imports from ANZ in the low and mid tiers	HFC-32 becoming prevalent in line with trend in ANZ
	Japan	<u>Japan: Not Available</u>	Japan: Units available for export only Regulation does not support equipment development with high-GWP HFCs	Japan: HFC-32 units are prevalent
	Korea	<u>Korea: Not Available</u>	Korea: 410A system including ductless, mini-split system and VRF	Korea: HFC-32
	China	China: Less than 20% equipment with HCFCs	China: about 60% of equipment are High-GWP HFCs	China: HFC-32 and HC-290 units are available
	Thailand	Locally manufactured	R-410A locally manufactured with inverter and non-inverter	HFC-32 units locally manufactured in small quantities
	South East Asia	Locally manufactured in some countries	Indonesia: ~50 of the market is R-410A R-410A fixed speed locally manufactured in some countries or imported MEPS are not separated for inverter and non-inverter except in Singapore and Indonesia	Malaysia: manufacturing of compressors for HFC-32 Vietnam and Indonesia: HFC-32 units with inverter
	India	India: Available from local manufacturers. Import is not allowed.	<u>India: Not available in lower efficiencies</u>	India: HFC-32 and HC-290 units available
	Central Asia	Locally manufactured in some countries	Locally manufactured in some countries	Available for import
	Gulf Cooperation Council	Available as locally manufactured or imported	HAT: R-410A with fixed speed and variable speed	HFC-32 units are available Research on HC-290 and HFO leads to viable result Saudi G-Mark regulation requires certification for charge limitation of flammable refrigerants for residential applications

	Middle East & North Africa	Available as locally manufactured or imported	Available as locally manufactured or imported	HFC-32 and R-454B Accepted in Egypt, manufacturing not started Morocco*: HFC-32 inverter is available for import through Buyers' club
	Central Africa	Available in most countries	R-410A units fixed speed and inverter	Ghana: HC-290 units imported into the country in a program supported by GIZ Other countries: HFC-32 units with inverter available for import*
	Southern Africa	Available as locally manufactured or imported	R-410A units fixed speed and inverter	HFC-32 units
	Europe		EU: Available in R-410A and R-407C in mini-splits: 2-speed and VRF	EU: both HFC-32 and HC-290
	North America		N. America: Available in R-410A and R-407C in mini-splits: 2-speed and VRF	<i>N. America: Emerging new technology using HFC-32 and HFO blends</i>
	Central America	Available in most countries	R-410A available	Mexico: HFC-32 inverter by at least one manufacturer Other countries: HFC-32 available to import Grenada: HC-290 available to import through a GIZ program
	South America	Available in most countries	S. America: R-410A both fixed speed and variable speed Brazil: 40-50% of R-410A units are inverter	Brazil: HFC-32 inverter available from one manufacturer. A second manufacturer announced production of HFC-32 by end of 2019 HC-290 expected to be available once MLF projects completed. Other countries: available to import

Table 2: Availability of Technology for AC: Energy Efficiency vs. refrigerants - Mid Tier

Mid-Tier Energy Efficiency up to 10% above Minimum MEPS	Regions	HCFC	High-GWP HFC	Medium and low GWP
	Australia & New Zealand	<u>Aus. & NZ: Not Available</u>	45% of the market is R-410A in the low and mid-tier efficiency ranges	53% of the market is HFC-32 units more weighted towards the higher efficiency tiers
	Oceania & PIC	Around 5% of the market	Papua New Guinea / Fiji/ Solomon Islands: R-410A imports from ANZ in the low and mid tiers	HFC-32 becoming prevalent in line with trend in ANZ
	Japan	<u>Japan: Not Available</u>	<u>Japan: Not Available</u>	Japan: "The top runner program" requires weighted average APF higher than the standard value. (for both domestic and commercial air-conditioners)
	Korea	<u>Korea: Not Available</u>	Korea: 410A system including ductless, mini-split system and VRF	Korea: HFC-32 units with inverter
	China	China: Less than 20% equipment with HCFCs	China: about 60% of equipment are High-GWP HFCs	China: Both HC-290 and HFC-32 inverter that have higher APF than the standard value are introduced
	Thailand	Thailand: Locally manufactured	Thailand: R-410A locally manufactured	Thailand: 70% of the locally manufactured units are HFC-32 units with inverter
	South East Asia	Locally manufactured in some countries	Indonesia: 5% of the market is R-410A inverter R-410A units are locally manufactured in some countries or imported MEPS are not separated for inverter and non-inverter except in Singapore and Indonesia	Indonesia: ~ 50% of the market is HFC-32 units MEPS are not separated for inverter and non-inverter except in Singapore and Indonesia
	India	India: Available from local manufacturers. Import is not allowed.	India: R-410A widely available up to 3 Stars	India: HFC-32 and HC-290 available up to 5 Star
	Central Asia	Locally manufactured in some countries	Locally manufactured in some countries	Available for import
	Gulf Cooperation Council	Available as locally manufactured or imported	R-410A with inverter	HFC-32 units are available Research on HC-290 and HFO leads to viable results Saudi G-Mark regulation requires certification for charge limitation of flammable refrigerants for residential applications
	Middle East & North Africa	Available as locally manufactured or imported	Available as locally manufactured or imported	HFC-32 and R-454B Accepted in Egypt, manufacturing not started Morocco: HFC-32 inverter is available for import
	Central Africa	<u>Not Available</u>	R-410A units with inverter	HFC-32 units in some markets
	Southern Africa	<u>Not Available</u>	R-410A units with inverter South Africa: 75% of the market is inverter	HFC-32 units in some markets
	Europe	<u>Not Available</u>	EU: Available in R-410A and R-407C in mini-splits: 2-speed and VRF	EU: Cent A/C 2-speed, Mini-splits VRF - EU Eco-Design,

	North America	<u>Not Available</u>	N. America: Available in R-410A and R-407C in mini-splits: 2-speed and VRF	<i>N. America: Emerging new technology using HFC-32 and HFO blends</i>
	Central America	Available in most countries	R-410A available	Mexico: HFC-32 inverter by at least one manufacturer
	South America	Available in most countries	S. America: R-410A both fixed speed and variable speed Brazil: 40-50% of R-410A units are inverter	Brazil: HFC-32 inverter available from one manufacturer. A second manufacturer announced production of HFC-32 by end of 2019 HC-290 expected to be available once MLF projects completed. Other countries: available to import

Table 3: Availability of Technology for AC: Energy Efficiency vs. refrigerants - High Tier

High Tier Energy Efficiency more than 10% above Minimum MEPS	Regions	HCFC	High-GWP HFC	Medium and low GWP
	Australia & New Zealand	Not Available	<u>Not Available</u>	53% of the market is HFC-32 units more weighted towards the higher efficiency tiers
	Oceania & PIC		<u>Not Available</u>	Available for import
	Japan		<u>Japan: Not Available</u>	Japan: "The top runner program" requires weighted average APF higher than the standard value (for both domestic and commercial air-conditioners)
	Korea		Korea: 410A system including ductless, mini-split system and VRF	HFC-32 units with inverter
	China		China: "The top runner program" requires weighted average APF higher than standard value, about 1% of market	China: Both HC-290 and HFC-32 inverter that have higher APF than the standard value are introduced
	Thailand		R-410A locally manufactured mainly inverter type Separated MEPS for inverter and non-inverter	HFC-32 units with inverter Separated MEPS for inverter and non-inverter
	South East Asia		R-410A locally manufactured in some countries or imported. MEPS are not separated for inverter and non-inverter except in Singapore and Indonesia	Indonesia, Philippines, and Vietnam: HFC-32 units with inverter
	India		India: R-410A widely available in inverter 3 to 5 star	India: HFC-32 and HC-290 available up to 5 Star
	Central Asia		Available for import	Available for import
	Gulf Cooperation Council		HAT: High GWP HFCs Could not meet higher efficiency with conventional design, however, MEPS >10%, (EER 12.7) can be achieved with microchannel heat exchangers	HFC-32 units are available Research on HC-290 and HFO leads to viable result Saudi G-Mark regulation requires certification for charge limitation of flammable refrigerants for residential applications
	Middle East & North Africa		Available as locally manufactured or imported	HFC-32 and R-454B Accepted in Egypt, manufacturing not started. Morocco: HFC-32 inverter is available for import
	Central Africa		R-410A units with inverter	HFC-32 units in some markets
	Southern Africa		R-410A units with inverter South Africa: 75% of the market is inverter	HFC-32 units in some markets
	Europe		EU: Cent A/C 2-speed, Mini-splits, VRF- Eco-Design	EU: Cent A/C 2-speed, Mini-splits VRF - EU Ecodesign
	North America		N. America: Cent A/C 2-speed, Mini-splits, VRF with R-410A units	N. America: Emerging new technology using HFC-32 and HFO blends
	Central America		R-410A available	Mexico: HFC-32 inverter by at least one manufacturer
	South America		S. America: R-410A both fixed speed and variable speed Brazil: 40-50% of R-410A units are inverter	Brazil: HFC-32 inverter available from one manufacturer. A second manufacturer announced production of HFC-32 by end of 2019. HC-290 expected to be available once MLF projects completed. Other countries: available to import

Annex III

INFORMATION ON AVAILABILITY, COST AND ENERGY EFFICIENCY (EE) IMPACT AND APPLICATION TO CLIMATE REGION FOR DIFFERENT COMPONENTS RELATED TO EE FOR MEDIUM- AND LOW-GLOBAL-WARMING POTENTIAL REFRIGERANTS FOR AIR-CONDITIONERS AND SELF-CONTAINED COMMERCIAL REFRIGERATION EQUIPMENT

Part 1: Air conditioners

Component	Applicable to ref circuit	Available today?	Presently in use?	Remarks	Necessary components	Max potential improvement	Incremental cost for RAC unit	Applicability to climate region		
								LAT	MAT	HAT
Compressors										
Higher efficiency	X	Y	Y	Mostly rotary compressor				X	X	X
-Inverter driven	X	Y	Y	Mostly used for rotary	Inverter, dedicated compressor	20% to 30%	20%	X	X	X
- two stage compression	X	Y	L	Very limited availability		10%	10% – 20%	X	X	X
- motor efficiency controllers		Y	L	Standard		same	Same	X	X	X
Energy efficient fan motors										
- EC fan motors		Y	Y	Reduce energy, heat load	Controller	7% to 15%	15% to 25%	X	X	X
- variable/fixed-speed		Y	Y					X	X	X
- optimized fan blades		Y	Y					X	X	X
-tangential fans		Y	Y	For indoor unit only				X	X	X
- improved axial fans		Y	Y	For outdoor unit only				X	X	X
Expansion devices										
- electronic expansion valves	X	Y	L		EEV and controller	15% to 20%	15%	X	X	X
-fixed orifice	X	Y	L		RAC heating	Less efficiency	negative	X	X	X
- capillary tubes	X	Y	Y		TEV	Heating mode	negative	X	X	X
Heat exchangers										
-Microchannel condenser coil	Y	Y	Y	Only condenser	AL/AL	15%	negative	X	X	X
-Microchannel evaporator coil	N	N	N				Less cost compared to the fin and tube			
- smaller tube diameter for condenser coil	X	Y	Y	Y	CU/AL	10% to 40%,	negative	X	X	X
- smaller tube diameter for evaporator coil		Y	Y	Y	CU/AL	10% to 40%	negative	X	X	X
Adiabatic condensers		Y	Very limited	Only in high ambient	Filter and water treatment	25% to 30%	20% to 35%			X
Pipe insulation		Y	Y	Normal practice	Pipe insulation	<2%	Standard	X	X	X
Refrigerant	X	Y	Y	See RTOC 2014, 2018	Refrigerant	See RTOC 2014, 2018	+/- depends on the region	X	X	X

Component	Applicable to ref circuit	Available today?	Presently in use?	Remarks	Necessary components	Max potential improvement	Incremental cost for RAC unit	Applicability to climate region		
								LAT	MAT	HAT
Defrost techniques	Y	Y		For HP only	controller		HP	X	X	X
- hot gas, reverse cycle		Y	L	HP	4 WAY VALVE	negative	Heating	X	X	X
- resistance heaters for Heating		Y	Y	some regions	Electric heater	negative	Some areas	X	X	X
- on demand control		Y	Y		controller		same	X	X	X
Controls										
- dynamic demand controllers		Y	Y		standard		standard	X	X	X
Reducing head pressure	X	Y	Y		Var speed cond. fans, controller	2 – 3% per 1 K	various		X	X

Part 2: SCCRE

Option	Applicable to ref circuit	Available today?	Presently in use?	Applicable to what SCCRE?	Remarks	Necessary component(s)	Max potential EE improvement of entire SCCRE	Indicative additional cost for SCCRE	Applicability to climate region		
									LAT	MAT	HAT
Anti-fogging glass		Y	Y	Glass freezer door	Avoids heating elements, as option	Surface treatments	Minimal	<5%		X	X
Improved cabinet air flow											
- air deflectors/guides		Y	Y	Open multideck	Reduces cold spillage	Aerofoils	15%	neg.	X	X	X
- shelf risers and weir plates		Y	Y	Open multideck	Reduces cold spillage	Plastic strips	4%	neg.	X	X	X
- short air curtains		Y	Y	Open multideck	Reduces cold spillage	Airflow design	30%	neg.	X	X	X
- strip/night curtains		Y	Y	Open multideck	Reduces cold spillage	Clear plastic strips	60%	\$100	X	X	X
Energy efficient fan/motors											
- Electronically Communicated (EC) fan motors		Y	Y	All types	Less energy & heat load	EC motors	10%	+15%	X	X	X
- variable speed		Y	Y	All types	e.g., 2-speed fixed	Fan motor type	10%	+15%	X	X	X
- optimised fan blades		Y	Y	All types		None	5%	Neg.	X	X	X
- tangential fans		Y	Y	All types		Fan type	5%	<10%	X	X	X
- diagonal compact fans		Y	Y	All types	Match press of cabinet	Fan type	5%	<10%	X	X	X

Option	Applicable to ref circuit	Available today?	Presently in use?	Applicable to what SCCRE?	Remarks	Necessary component(s)	Max potential EE improvement of entire SCCRE	Indicative additional cost for SCCRE	Applicability to climate region		
									LAT	MAT	HAT
- improved axial fans		Y	Y	All types		Fan type	5%	<10%	X	X	X
- fan motor outside cabinet		Y	N	Never used	Not worth it	None	n/k	neg.	X	X	X
Cabinet doors											
- doors on cabinets		Y	Y	All types	Reduces heat load and infiltration	Doors	45%	\$300 per m	X	X	X
- door gaskets		Y	Y	Standard freezer	Reduces heat load and infiltration	Gaskets	15%	\$30	X	X	X
Compressors											
- higher efficiency	X	Y	Y	All types	Increased by 20% over past 20 years	Advanced compressor	20% (MT), 30% (LT)	neg.	X	X	X
- Inverter driven	X	Y	Y	All types	Better PL efficiency; with/out PFC	Inverter, dedicated compressor	40%	2 × non-inverter	X	X	X
- motor efficiency controllers		Y	L	All types	Regions having poor mains power; not needed for Variable Speed Drive (VSD)	MEC device	10%	n/k	X	X	X
- two stage compression	X	Y	L	Mainly for R744		Two (smaller) compr; two roller rotaries	5%	20 – 40%	X	X	X
- economisers / inter-stage coolers	X	Y	L	Mainly for R744		Special compressor + flash vessel or HX	15%	n/k	X	X	X
Expanders	X	Y	L	Mainly for R744		Expander / integrated compressor-expander	30%	n/a	X	X	X
Cabinet lighting											
- LEDs		Y	Y	All types	Now standard	LED lamps	50% on lighting	<0%	X	X	X
- occupancy sensors		Y	Y	mainly for non-perishables	On demand lighting	Proximity sensors	10%	<0%	X	X	X
Defrost techniques											
- hot gas, reverse cycle		Y	L	Freezers, shortens time, product quality	Increases leaks, faults	Valve	5%	3%	X	X	X

Option	Applicable to ref circuit	Available today?	Presently in use?	Applicable to what SCCRE?	Remarks	Necessary component(s)	Max potential EE improvement of entire SCCRE	Indicative additional cost for SCCRE	Applicability to climate region		
									LAT	MAT	HAT
- resistance heaters		Y	Y	MT and LT cabinets ¹	Preferred reliable /	Heater rods	n/a	n/a	X	X	X
- off-cycle		Y	Y	HT and MT cabinets	Eliminates defrost energy	none	10%	<0%	X	X	X
- on demand control		Y	Y	All types	Defrosts when needed	Sensors, controller	10%	<5%	X	X	X
Controls											
- dual port thermostatic expansion valve (TEV) (balanced)	X	Y	N	Open type	Evens evaporator load	TEV	n/k	n/k	X	X	X
- dynamic demand controllers		Y	Y	All types	Manages energy use	Sensors & controller	40%	Various	X	X	X
- electronic expansion valves (EEV)	X	Y	L	Larger cabinets	Modulates evaporator pressure	EEV controller and	20%	\$200	X	X	X
- optimisation of capillary	X	Y	Y	All cabinets			Anything	Neg.	X	X	X
- suction pressure control	X	Y	L	Larger systems	Modulates evaporator pressure	(See VSC & EEV)	2% per K increase	\$40 - \$400	X	X	X
Reducing head pressure	X	Y	Y	Larger systems	Reduces press lift	Variable speed fans, controller	2 – 4% per 1 K reduction	Various		X	X
Ejectors	X	Y	L	Larger systems, R744 only		Ejector valve	20% or 30% with R744	\$20		X	X
Heat exchanger (HX) design											
- optimised configuration	X	Y	Y	All types	Better heat transfer (HT), lower discharge pressure (DP)	HX materials	0 to 40% of baseline	Neg	X	X	X
- optimised air fins		Y	Y	All types	Better HT, lower DP	HX design	10%	Neg	X	X	X
- internal rifling	X	Y	Y	All types	Better HT, lower DP	HX design	5%	Neg	X	X	X
- internal fins	X	Y	Y	All types	Better HT, lower DP	Internal fins	5%	Neg	X	X	X
- hydrophobic coating		Y	L	All types	Mainly for conds, reduces dust and corrosion	Coating	5%	Neg	X	X	X

¹ LT: Low Temperature, around -18°C; MT: Medium Temperature, around 0°C to 8°C

Option	Applicable to ref circuit	Available today?	Presently in use?	Applicable to what SCCRE?	Remarks	Necessary component(s)	Max potential EE improvement of entire SCCRE	Indicative additional cost for SCCRE	Applicability to climate region		
									LAT	MAT	HAT
- hydrophilic coating		Y	L	All types, evaporators	Anti-corrosion; reduce water layer thickness	Coating	5%	Neg	X	X	X
- flooded evaporators	X	Y	N	Larger systems	added to R744	Float v, surge drum	5%	n/a	X	X	X
Other heat load											
- radiant reflectors		Y	Y	Any glass	Reflects infrared (IR)	Internal surface	8%	Neg	X	X	X
- night blinds and covers		Y	Y	All types	Can reduce IR and infiltration	Night blinds, covers	20%	\$300	X	X	X
- improved glazing		Y	Y	Any glass	Reflects IR	New glass	5%	5%	X	X	X
- anti-sweat heater control		Y	Y	Any with AS heaters	Minimise heat load	Controller, sensors	3%	Neg.	X	X	X
- refrigerant line trim heaters		Y	Y	LT cabinets	Instead of resistance heaters	Extra piping	10% to 25%	Neg.		X	X
- vacuum insulated panels (VIP)		Y	N	All types	Reduces thermal cond.	VIP	15% ²	\$400/m ²	X	X	X
Heat pipes		Y	N	All types	In cabinet shelves, improving product temperature	Integrated heat pipes	12%	n/k	X	X	X
Leak minimization											
- improved leak tightness	Y	Y	Y	All types	Degrees of improvement	Manufacturing kit	20%	10%	X	X	X
- leak detection	Y	Y	L	All types	Previously on large system	Sensors	15%	10%	X	X	X
Liquid pressure amplification	X	Y	N	Larger systems		Liquid pump	25%	30% of compressor cost	X	X	X
Liquid-suction HX (LSHX)	X	Y	Y	All types	Brazing pipes together	LSHX	0%	Various	X	X	X
Pipe insulation		Y	Y	All types	Normal practice	Pipe insulation	3%	n/k		X	X
Higher efficiency refrigerant	X	Y	Y	All types	See RTOC 2014, 2018	Refrigerant	RTOC 2014, 2018	+/-	X	X	(X)
Nanoparticles in refrigerant	X	Y	N	All types	Experimental, concerns	nanoparticles	20%	\$20 – 100	X	X	X

² Clodic and Zoughaib (2000).

Annex IV

AVAILABILITY OF COMPONENTS FOR AIR-CONDITIONING EQUIPMENT WITH LOW- AND MEDIUM-GLOBAL-WARMING POTENTIAL REFRIGERANTS

This annex presents information on availability and EE aspects relating to AC equipment.

Availability of compressors for AC equipment

1. The most common form of AC equipment, mini-split ductless systems, mainly use rotary type compressors. The simplest form of rotary compressor is “fixed-speed,” meaning it only has two modes: “on” or “off”. It turns on to cool a room and turns off once the room has reached the desired set temperature. “Variable-speed” compressors are inverter-driven and can operate at more than one speed to more efficiently and comfortably deliver the amount of cooling needed and maintain the desired temperature. The variable-speed units require electronic control systems, which can add to manufacturing costs.
2. Nearly all rotary compressor production is currently located in Asia and concentrated in China, as shown in Figure 5. Compressor manufacturing outside of China in descending order of capacity as of 2018 include Thailand, South Korea, Malaysia, Japan, India, Brazil, and the Czech Republic.



Figure 5. Global RAC Rotary Compressor capacity as at September 2018 (Nicholson et al 2019)

3. China is by far the world’s largest producer of compressors for room air-conditioner, with an estimated annual capacity of nearly 200 million units per year. In 2018, the four largest compressor manufacturers in China together accounted for over 60 per cent of global rotary compressor production capacity.
4. An analysis of company catalogues and websites found that rotary compressors using higher-GWP HCFC-22 and R-410A refrigerants accounted for the majority of models available worldwide in 2018, although many companies, mostly in Asia, now offer both fixed-speed and variable-speed compressors which use medium- and low-GWP HFC-32 and HC-290 refrigerants. However, the analysis found that none of the variable-speed compressor models identified use HCFC-22. In China, 42 per cent of the 167 million rotary compressors produced in 2017 were of the variable-speed type, compared to five years earlier in 2012, when these were only 30 per cent of 103 million.

5. Approximately 30 per cent of the rotary compressors produced in China in 2017 were designed to operate with the HCFC-22 refrigerant. While the quantity of HCFC-22 units has remained approximately constant over the past several years (Figure 6), the percentage of HCFC-22 units has declined in recent years, as the production of units using R-410A has increased to become the dominant type in China-produced rotary compressors.

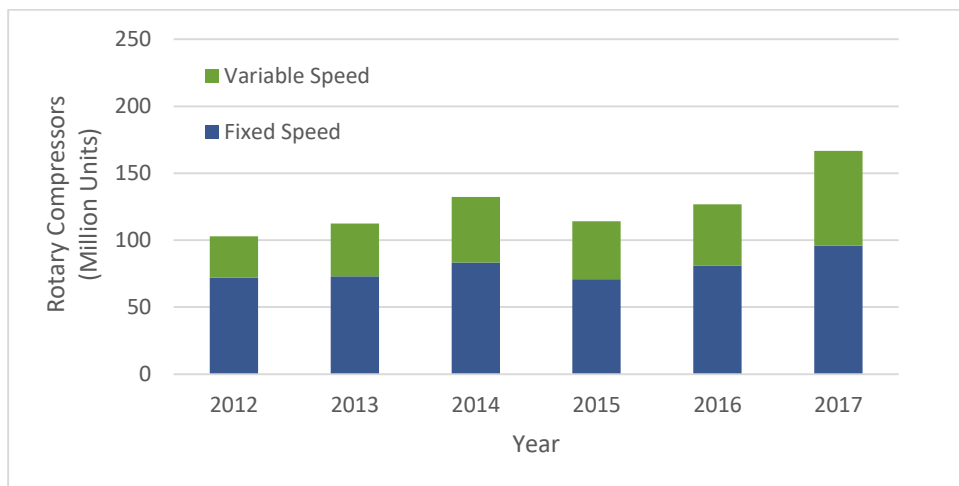
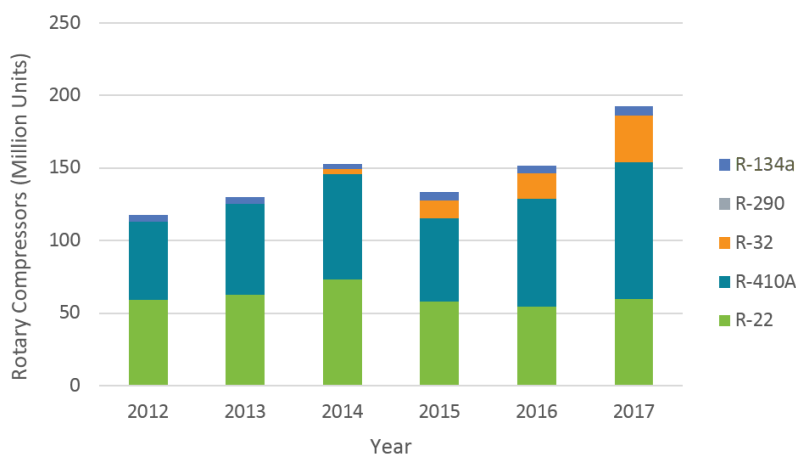


Figure 6. Chinese production of Fixed and Variable Speed Rotary Compressors, 2012-2017

6. Compressors for medium- and lower-GWP refrigerants (HFC-32 and HC-290) are mainly made in China.



Source: ChinaIOL

Figure 7. Chinese Production of Rotary Compressors by Refrigerant, 2012-2017

Note: HFC-134a rotary compressors are primarily used in mobile cooling applications, in contrast to the rest of the rotary compressor market which is used mainly for room (stationary) AC

7. As can be seen from the chart, the production of HC-290 compressors is not significant compared to the other refrigerants.

8. Some Middle East countries, especially with HAT conditions, continue to use reciprocating and scroll compressors in some of their production. Only a few rotary compressors are used for split AC units. Compressors operating at HAT conditions have specific design requirements (e.g. higher starting torque against the higher standing pressure during the off cycle; a motor-design suitable for those conditions). The technology for 2-ton units running on A2L refrigerants is available; however, commercial availability of compressors will depend on the demand.

9. The transition from fixed-speed to inverter compressors has sharply increased in the last five years to meet MEPS requirements, even though MEPS in some countries still list the full load efficiency figures only, rather than the seasonal efficiency figures. This is the case for Saudi Arabia where most of the AC units are fixed speed.

10. New compressor lubricants are being developed to be compatible with low-GWP synthetic refrigerants. Certain conventional polyester (POE) and polyvinyl ether (PVE) oils used for HFC refrigerants were insufficiently miscible with some refrigerants like HFC-32. New oils with better miscibility properties have been developed and patented for room AC use.

Availability of heat exchangers for AC

11. In most cases, the heat exchangers continue to be of the “fin-and-tube” type made from copper or aluminium. However, many companies are switching to use smaller tube diameter and micro-channel heat exchangers, which are already used in existing high-GWP AC split units. The most commonly used heat exchanger tube diameter for standard high GWP refrigerant are 3/8-inch (9.525 mm), 1/4 inch (6.35 mm), and 7mm (~1/4 inch) tube diameter, but for the new refrigerants, some companies are using tubes of 5 mm diameter. These higher energy efficiency components reduce the refrigerant charge and are valuable in enabling medium and lower GWP refrigerant AC units to comply with safety standards. They are widely available. More information on heat exchangers in section 3.2.3 of TEAP Task Force report 2019.

Availability of fans for AC

12. Each split unit contains two fans (one in the outdoor unit and one in the indoor unit). Fan technologies are widely available. There are no special requirements for using efficient fans for medium and lower-GWP refrigerants.

Availability of refrigeration accessories for AC

13. The accessories for the refrigeration circuit used in the split AC units include the expansion device, liquid and gas valves, suction accumulator, liquid receiver, oil separator (if needed), and all accessories installed in the connecting pipes between all major components of the AC unit either in the gas side or liquid side of the unit. All of these components and accessories are available for high-GWP refrigerant applications and can be used for the medium- and low-GWP applications.

Annex V

AVAILABILITY OF COMPONENTS FOR AIR-CONDITIONERS AND SELF-CONTAINED COMMERCIAL REFRIGERATION EQUIPMENT LOW- AND MEDIUM-GLOBAL-WARMING POTENTIAL REFRIGERANTS

This annex presents information on availability and energy efficiency aspects relating to SCCRE.

Availability of compressors

1. A variety of different compressors are used in SCCRE, depending upon temperature lift, capacity, refrigerant type, and so on. For most types of compressors, efficiency improvements arise from marginal incremental refinements (such as oil distribution, valve losses, motor efficiency, internal leakage, flow path pressure losses, internal heat transfer, etc.). One major technological progression involves use and deployment of variable speed compressors, typically using inverter technology to enable the control of rotational speed over a fairly wide range. Variable speed compressors allow the mass flow of refrigerant to be adjusted to suit the cooling (or heating) demand so that the system components are essentially closer to the optimal balance point for the surrounding temperatures. Implicit in this is the lower mass flow (at sub-maximum load) which leads to reduced pressure losses and less frosting.
2. Usual compressors are hermetic reciprocating, scrolls and rotary (both vertical small print and horizontal when height restrictions apply). The remaining compressor developments have arisen from the increased use of R744, where much higher pressures, pressure ratios and pressure differences are present, compared to usual refrigerants. Although many of these developments are in principle beneficial to other refrigerants, they result in a costly approach for minor efficiency improvements.
3. The applicability to a specific climate/region depends more on daily or annual variation in temperature, rather than absolute high or low temperature.

Improved cabinet air flow

4. Improved cabinet air flow has a potentially huge impact on energy use and also product quality. Various physical approaches are available such as changes to configuration of air ducting and small plastic baffles and plates. Most are broadly cost-neutral but just require extensive R&D.

Energy-efficient fan/motors

5. Major transformation has occurred in the shape of electronic commutation (EC) motors, which offer significant reduction in energy use. Further benefits arise from design of fan structure and blade shape.

Doors on cabinets

6. Intuitively the use of doors on display cabinets should yield major energy benefits by retaining cold air and preventing spillage and entrainment of warm humid air. Major improvements are associated with “vertical” type cabinets, where infiltration ordinarily contributes to about 70 – 80 per cent of the heat load. The benefits are less with gondola (also known as well or coffin) type cabinets where infiltration is responsible for about 20 per cent of the load. Gaskets around glass doors also amplifies the benefit of using door.

Cabinet lighting

7. Historically SCCRE used fluorescent lamps but presently LEDs are almost ubiquitous. LEDs use less power and also reduce heat output (thus reducing heat load).

Defrost techniques

8. Historically a variety of defrost techniques have been used, including reverse cycle, hot gas, cool gas as well as electrical resistance heaters on “off-cycle” where air is continued to be passed over the frosted coil but with absence of refrigeration. Whilst reverse cycle, hot gas and cool gas defrost offer more efficient defrosting, they tend to be more costly to implement and have other implications that affect system reliability, such as causing thermal shock and thus increasing leakage. The most beneficial development related to defrost is control methodology so that defrosting-on-demand can be applied.

Controls

9. In addition to improved cabinet airflow, and in parallel with variable speed compressor drives, the most significant contribution to SCCR equipment (SCCRE) efficiency improvement has come from modern control technology. Application of the electronic expansion valve (EEV) and associated control software can yield substantial improvements in EE, although at present there is only limited application in SCCRE due to the relatively high cost, compared to other technologies. Control systems linking compressor modulation, EEVs, defrost-on-demand, lighting, trim-heaters, fan airflow rates as well as leak detection based on system parameters can have a major influence on energy consumption and optimisation of cycle efficiency. Adjusting the cooling to the use pattern e.g. while keeping the product at, say, 3°C if the shop is closed (such as during weekends, etc.). The set-point temperature can be adjusted to achieve the optimum balance between run time and pull-down energy demand. Such techniques are not applicable to perishable products.

Heat exchanger design

10. Features related to heat exchanger design are diverse and given the variation on SCCRE design, construction and function, it is difficult to make general statements on how much EE improvement particular approaches can offer and what the potential improvements could be. Target heat exchanger approach temperature difference should be below 5 K, for both evaporator and condenser. Often it depends upon the skill and knowledge of heat exchanger designers and manufacturers. In general, it is common practice today to use microchannel heat exchangers (MCHX) for condensers and brazed plate heat exchangers (BPHX) for liquid-cooled condensers, which simultaneously offer advantages in terms of charge reduction (preferred for flammable refrigerants). For smaller capacity units, wire-on-tube (WoT) condensers are used, which are low cost and provide sufficient levels of EE. The major advantage is however, that degradation due to dust accumulation over time is substantially.

Heat load

11. Lowering the heat load into the SCCRE helps reduce energy consumption per m² or per m³ of refrigerated space, although it does not necessarily impact on the refrigeration cycle efficiency. Most approaches are based around limiting thermal transfer from electrical components, minimising radiant heat transfer from the surroundings and reducing conduction into the space.

Leak minimisation

12. Whilst leak minimisation is a priority for the application of flammable refrigerants, actions to retain the entire charge can significantly contribute to maintaining the “design” efficiency of a SCCRE. A deficit of refrigerant charge can go unnoticed until a certain level is reached, but in the meantime the compressor operates longer, and cycle efficiency degrades.

13. Whilst many of these technologies can in isolation produce substantive improvements in EE, combining two or more technologies will not result in summation of both improvements. Considered selection and iteration of implementation is necessary to obtain the most cost-effective benefit.

14. Many of the “older” technologies are now becoming redundant since newer technologies help bypass the need for others. For example, locating fan motors outside the cabinet is no longer worth the effort, when new EC fan motors only emit a fraction of heat of previous fan types

15. National or regional MEPS are the main driver for improving EE. Historically “in-situ” direct testing of energy use was riddled with misinterpretation and misunderstanding of measurements and results. Increasingly more rigorous methods are being developed. However, one of the main challenges is conducting tests that mimic real life conditions, which can vary widely and drastically affect comparative results.

16. Regulators in certain regions have introduced MEPS. However, the process has been turbulent in many cases due to the basis (dominator) for determining energy consumption, i.e., per internal volume, per display area, etc.

Annex VI

ADDITIONAL COSTS RELATING TO PRODUCTION LINE AND COMPONENT CHANGES FOR PRODUCING DOMESTIC AIR-CONDITIONERS USING FLAMMABLE REFRIGERANTS AND COST AND PERFORMANCE ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENT REFRIGERATION AND AIR-CONDITIONING EQUIPMENT

1. Production line changes and additional requirements (modifications) to produce domestic AC units with flammable refrigerants will require production line equipment modifications and or replacements on each line including:

- (a) Refrigerant recovery and charging machines for both A2L and A3 refrigerants (US \$25,000 –US \$50,000)
- (b) Pressure testing equipment for high pressure refrigerant A2L (HFC-32) (US \$15,000 – US \$30,000)
- (c) Refrigerant storage tank and accessories (3000 to 10000 litre) US \$15,000 – US \$40,000)
- (d) Structural and safety modifications in the refrigerant charging area (including electrical panels, piping, anti-static floors and accessories) (US \$15,000 – US \$25,000)
- (e) Modifications to the finished product testing areas (US \$10,000 – US \$20,000)
- (f) Modifications for heat exchanger production line for tooling for smaller tube diameter, or establishment of new production lines for micro-channel heat exchanger (US \$1,000,000 – US \$1,500,000). It should be noted that smaller diameter or microchannel heat exchanger, the material cost is significantly reduced.
- (g) Labour costs differ between countries, but extra costs will come in two main categories:
 - (i) Staff training to build capacity in dealing with flammable refrigerants and their safety requirements.
 - (ii) Additional staff cost to use more skilled workers.

2. The estimated cost for these items varies between countries and depends on the source of the equipment and availability of parts. For example, the cost of a refrigerant charging machine from China is 30 per cent lower than buying the same specification machine from Europe (in the range US \$25,000 – US \$50,000). There is additional cost in the finished product testing area for flammable refrigerant compared to non-flammable refrigerants, due to the additional piping, isolation valves and gas leakage sensors (5 to 10 sensors at ~ US \$500 each) that are required in many locations.

Safety measures

3. Additional ventilation and fire-fighting equipment is required in the charging area, for safe manufacture any units for either A2L or A3 refrigerants with estimated costs as follows:

- Charging area ventilation system (US \$10,000 – US \$20,000)
- Charging area firefighting system including sprinklers and water storage tanks (US \$20,000 – US \$30,000)

Testing

4. Testing facilities are required at two locations, the production line and the laboratory for testing A2L and/or A3 refrigerants with the following estimated costs:

- The production line testing area (US \$50,000 – US \$75,000)
- The laboratory for product development (US \$50,000 – US \$75,000)

IP/technology know-how

5. The costs of technology transfer including IP and know-how are estimated as follows:

- Software (either developed in-house or outsourced from another specialized company: (US \$0 – US \$50,000)
- Building prototype(s) to verify performance and validate the software: (US \$10,000 – US \$20,000)
- IP cost is unknown but may be a royalty (in licensing) or a one-off license payment. For many A2L refrigerants there is substantial IP in terms of design of the refrigerant supply but moreover for system design, etc. With A3 refrigerants there is only very limited IP, and this is generally associated with “gadgets” and are thus not critical to their application.

Logistics

Shipping

6. This will include the additional shipping cost due to flammability for all material and/or components required for the manufacturing of the AC and CR equipment, and the additional cost of shipping finished goods either internally or abroad. This differs between countries. As an example, the shipping cost of a 40 ft container of flammable refrigerant from China to Jordan is US \$1,900 compared to US \$1,500 for non-flammable refrigerant. Some countries customs and clearance processes cost an additional 3-5 per cent.

Handling

7. This includes the cost of handling and storage of the flammable refrigerant and or finished product inside the manufacturing facilities and preparing it for inland, sea and air freight shipments. The handling process inside the factory requires the following precautions which increase the cost including:

- Storage of flammable refrigerant can be either inside a storage tank or smaller refrigerant cylinders, but both need adequate ventilation, and leakage monitoring systems: (US \$20,000 – US \$30,000)
- Handling the refrigerant and finished products inside the factory requires additional safety measures for transportation between the production departments and storage areas: (US \$10,000 – US \$15,000)
- Additional factory insurance and product liability insurance for flammable refrigerants: (US \$8,000 – US \$20,000)

Installation

8. This will include the additional costs of the training and awareness programs under the local jurisdiction; the extra cost of the certification and approvals from the jurisdiction party(s) to comply with the local building codes; international certification requirements to meet safety standards required in many countries for in the domestic A/C and commercial refrigeration equipment using flammable refrigerants.

9. This can be in different categories with the following estimates for costs:

- (a) Training and awareness programmes with certification of workers, workshops etc. (US \$10,000 – US \$20,000)
- (b) The certification cost for the new products (depending on the number of models needing to be certified, and the test standards requirements IEC, ISO, etc. (US \$10,000 – US \$15,000)

Overall costs summary

10. In summary, the overall costs, excluding shipping costs, are shown in Table 1 below. From this one can conclude the following at an overall level.

- (a) The investment required to convert an RAC manufacturing facility to flammable refrigerants is in the range of 300,000 – 500,000 USD.
- (b) The additional investment required to maximise energy efficiency by the establishment of new production lines for micro-channel heat exchangers is in the range 1,000,000 – 1,500,000 USD

Table 1: Estimates of the manufacturing costs for energy efficient RAC equipment containing low- and medium-GWP flammable refrigerants.

Conversion measure (USD)	Minimum	Maximum
Manufacturing		
Production line		
Refrigerant recovery and charging machines for both A2L and A3 refrigerants	25,000	50,000
Pressure testing equipment for high pressure refrigerant A2L (HFC-32)	15,000	30,000
Refrigerant storage tank and accessories (3000 to 10000 Litre)	15,000	40,000
Structural and safety modifications in the refrigerant charging area (including electrical panels, piping, anti-static floors and accessories)	15,000	25,000
Modifications to the finished product testing areas	10,000	20,000
Modifications for heat exchanger production line for tooling for smaller tube diameter, or establishment of new production lines for micro-channel heat exchanger	1,000,000	1,500,000
Safety measures		
Charging area ventilation system	10,000	20,000
Charging area firefighting system including sprinklers and water storage tanks	20,000	30,000
Testing		
Production line testing area	50,000	75,000
Laboratory for product development	50,000	75,000
IP/technology know-how		
Software	0	50,000
Building prototype(s) to verify performance and validate the software	10,000	20,000
IP costs ¹	variable	variable
Logistics		
Shipping		
Additional costs	3%	5%

¹ Please refer to section 3.1.1 discussion on IP related costs

Conversion measure (USD)	Minimum	Maximum
Handling		
Storage of flammable refrigerant can be either inside a storage tank or smaller refrigerant cylinders, but both need adequate ventilation, and leakage monitoring systems	20,000	30,000
Handling the refrigerant and finished products inside the factory requires additional safety measures for transportation between the production departments and storage areas	10,000	15,000
Additional factory insurance and product liability insurance for flammable refrigerants	8,000	20,000
Installation		
Training and awareness programmes with certification of workers, workshops	10,000	20,000
Certification cost for the new products (depending on the number of models needing to be certified, and the test standards requirements IEC, ISO)	10,000	15,000
Total without micro-channel heat exchanger production line or shipping)	303,000	535,000
Total with micro-channel heat exchanger production line (excluding shipping) (USD)	1,300,000	2,035,000

AC: Cost of components

11. The relative costs of energy efficient components are compared for a 3.5 kW mini-split in China. The baseline uses R-410A (APF 4.0) and HCFC-22 (EER 3.5) appliances. Certain components discussed in the following sub-chapter also apply to commercial refrigeration. These components will not be discussed in the chapter 3.3.

Refrigerant

12. Conventional refrigerants account for about 1 per cent of the total AC cost. The price of refrigerant always decreases with increasing consumption. Indicative prices of refrigerants commonly used in AC in China are shown in Fig 1. It is worth noting that in UK, the bulk HC (HC-290, HC-600a, HC-1270) price varies between USD 1 to USD 1.5 per kg. Furthermore, the average HCFC-22 price is USD 6/kg.

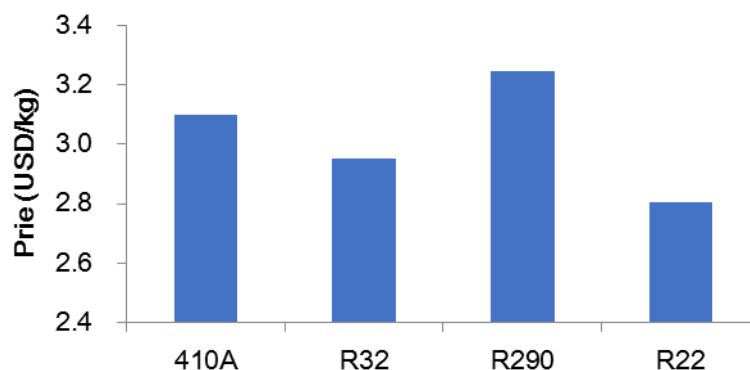
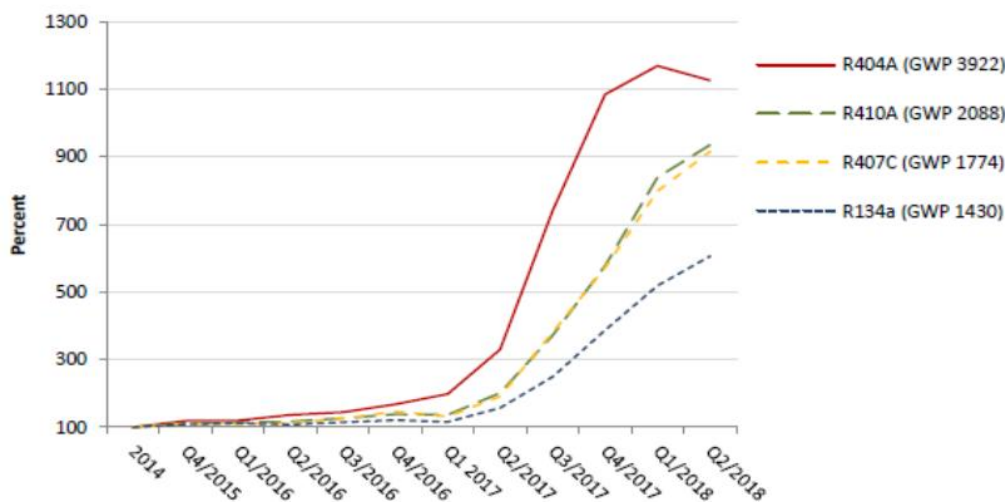


Figure 1. Estimates of refrigerant prices in China

13. The general price range of refrigerants is low, around 3 USD/kg +/-10 per cent. At an early stage, new refrigerants are more expensive, and difficult to get a foothold in the market. For example, R-290 is a by-product of the liquified natural gas (LNG) industry. Its production process is simpler than HFC-32, but its current price is slightly higher than HFC-32. However, when buying in bulk quantities, refrigerant-grade propane can be as low as US \$1 per kg.

14. The cost of high-GWP HFCs will rise with the implementation of the F-gas regulation and Kigali amendment, both of which impact the competitiveness of products containing HFCs. For example, the quoted price of R-410A in Europe went up tenfold over 2017, and in 2018 is ~ 20 Euro/kg, which far exceeds the material cost of the refrigerant itself. This increases the competitiveness of medium- and low-GWP alternative refrigerants and greatly promote the commercialisation of environmentally friendly refrigerant technologies.



Source: Ökorecherche 10/2018, Monitoring of HFC prices in the EU

Figure 2. HFCs quota price trend in Europe (Ökorecherche, 2018)

Compressor

15. The compressor accounts for about 20 per cent of the total cost of AC systems. Improving compressor efficiency represents one of the most direct and effective measure to improve an air-conditioner's efficiency. Rotary compressors are the most commonly used. Piston compressors are used in some window air-conditioner especially in the Middle East, whilst scroll compressors are often used in lighter commercial products. Today, modern compressors have an efficiency of about 70 per cent. The majority of the losses are electrical and mechanical, with the remainder due to internal refrigerant leakage.

16. The most effective way to improve the efficiency of a compressor is to use a higher efficiency motor, but lower scale improvements can also be obtained using refrigerants with properties that provide higher thermodynamic efficiency, reducing inner leakage and mechanical friction. These will increase the cost of materials and manufacturing costs. Efficiency can be improved by up to 20 per cent by technical advances, but cost increases proportionately.

Heat exchangers

17. Finned tubes are the most commonly used heat exchangers for AC. The heat exchanger efficiency is mainly determined by the heat transfer coefficient, area and the flow friction and has a major impact on the system's cooling/heating capacity. The smaller the heat transferring temperature difference (i.e. the larger heat transferring coefficient multiplied by the area) and the smaller the flow friction, the higher the heat exchanger efficiency, which can be achieved. Measures to improve efficiency include heat transferring enhanced copper tubes and fins, increasing air volume, reducing contact thermal resistance between fins and copper tubes, improving manufacturing processing to reduce the damage to the heat transfer enhancing structure, and increase of the surface area and to improve the contact between tubes and fins. Most of these increase the cost of manufacturing. Recent considerations such as reducing the heat exchanger volume to

reduce the volume of refrigerant and the use of thinner tubes (<5mm diameter) have not yet been assessed in terms of manufacturing costs

18. The relationship between the heat transfer efficiency of finned tubes to the system energy efficiency, and accordingly increased cost are shown in the figure below. Both found a proportionate increase in heat transfer efficiency in relation to cost.

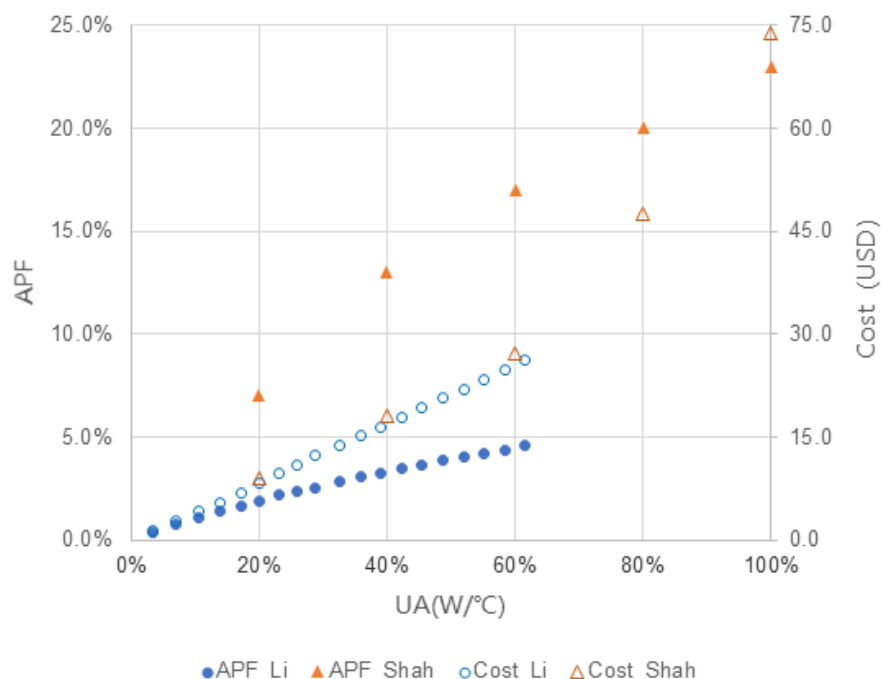


Figure 3. Heat exchanger cost and air-conditioner efficiency changing with heat exchanger efficiency

19. Micro-channel heat exchangers have a different mechanical structure, and approximately 40 per cent higher heat transfer efficiency than finned tube exchangers, due to:

- Higher air side heat transferring efficiency (larger tube area facing the airflow, with tubes connected with the fins by welding or by metal forming², rather than by expansion);
- Less refrigerant flow resistance due to shorter and more direct tubes;
- Higher refrigerant heat transfer coefficient
- Reduced system refrigerant charge by as much as 40 per cent.

20. Micro-channel heat exchangers require more complex to develop and are difficult to use them as evaporators. In addition, they can have higher maintenance costs because they are made from aluminium and the weld points can corrode in some conditions. Nevertheless, compared to finned tube heat exchangers, micro-channel heat exchangers have similar or marginally lower (~5 per cent) cost for the same capacity, and have higher (0-5 per cent) efficiency.

² Metal forming, is the metalworking process of fashioning metal parts and objects through mechanical deformation; the workpiece is reshaped without adding or removing material, and its mass remains unchanged

Fans/motors

21. There are two main types of fan motor used in air-conditioners - direct current (DC, efficiency 70 per cent) and alternating current (AC, efficiency 30 per cent). DC motors have a much higher efficiency but are almost double the cost compared to AC motors.

22. AC efficiency can be improved by increasing airflow rate. The air volume flow is proportional to the power of the fan. There is an optimum airflow rate at which the air-conditioner has highest efficiency. If the airflow is less than the optimum, increasing airflow benefits the system efficiency. However, if airflow rate is greater than the optimum then system efficiency declines due to additional power needed to overcome high-pressure loss that has a diminishing benefit to heat transfer. The cost of the fan and motor increases with increasing airflow rates in a stepwise fashion, because a single fan/motor can cover a range of airflow rates. Selecting the correct fan for cost versus efficiency varies from case to case. As can be seen, there is an optimal fan speed, above which efficiency declines and cost increases.

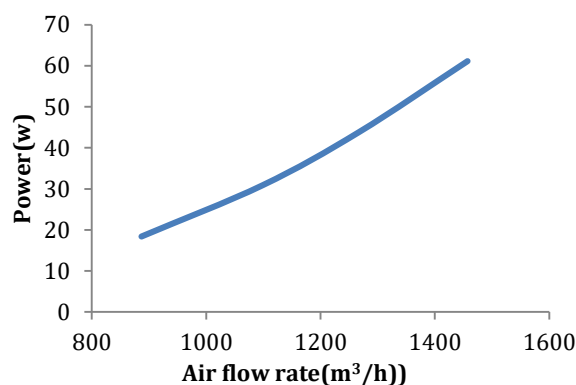


Figure 4. Schematic of fan power changing with airflow rate

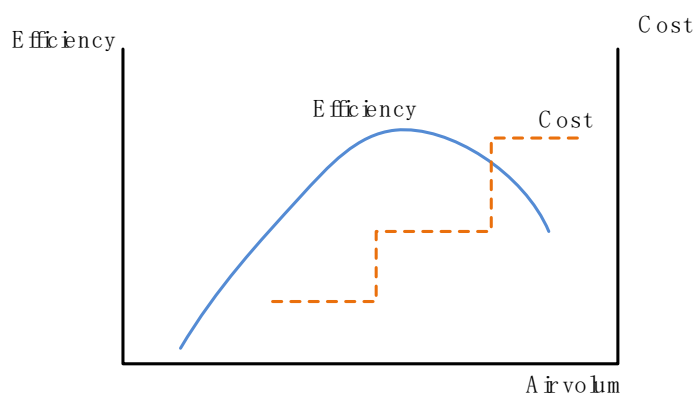


Figure 5. Schematic of air-conditioner efficiency and motor cost changing with air flow

Maintenance; self-cleaning

23. Most air-conditioners will have 5-10 per cent decline in efficiency during their lifetime, mainly due to dust deposition on heat exchange surface, the more complicated the fin geometry and the more rows of tubes, then the greater the dust deposition. As a result, the resistance to airflow increases and the air flow volume decreases, which reduces the efficiency of the heat exchanger and of the air-conditioner. Therefore, regular maintenance and cleaning of the AC system is essential in maintaining energy efficiency.

Increasingly, new products have a self-cleaning design at an additional cost of about \$20 (Task Force estimate).

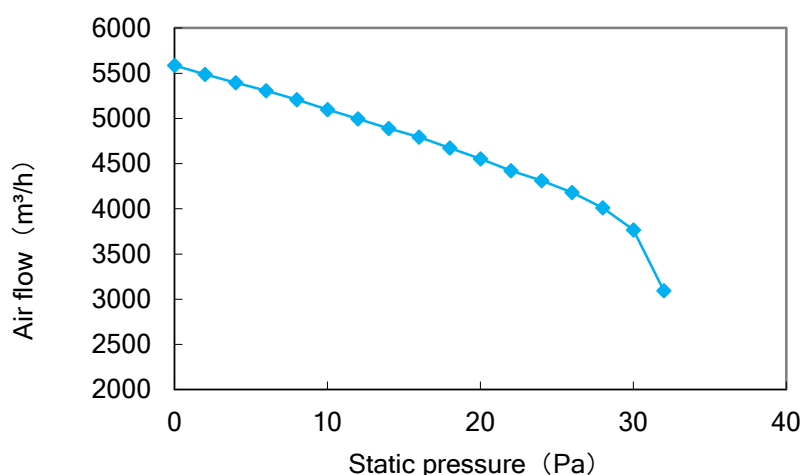


Figure 6. Schematic of airflow decrease changing with static pressure increase, to mimic dust build-up

Retrofit technologies

24. Several retrofit technologies offer EE improvements compared to baseline technologies. Some of these retrofit technologies include for room AC:

- Electronic, programmable, and self-learning Wi-Fi-enabled thermostat (estimated at 5 per cent energy saving);
- Central control system (estimated at 10 per cent energy saving); and
- Replacement of indoor and outdoor fan motors with variable speed ECM motors.

25. For commercial self-contained AC units, retrofit technologies include:

- Digital controllers to improve the compressor and fan controls;
- Adding doors/shields to vertical self-contained units;
- Replacing lighting with LED (reduce load and power draw); and
- Changing the thermostat set-point and reduce the glass-door heater power requirement
- Install anti-fog films on glass doors and deactivate glass door heaters (reduce load and power draw).

Costs of components for higher EE, specific to CR

26. As discussed in the previous sub-chapter, the energy consumption associated with a CR appliance is dictated not only by the system design and its components but also the construction of the equipment that is often unrelated to the system. Thus, there are a variety of elements that can be applied to commercial refrigeration appliances that may or may not be affected by the refrigerant type. Their cost can vary widely, depending upon the type of appliance, its size and also its function.

27. Table 2.7 in Chapter 2 of TEAP task force report lists all the often-considered options for improving SCCRE energy consumption; there are of course other options, but which may be applicable to non-self-contained or centralised type systems. The options have been broadly categorised according to its function, for example, improving airflow, improving fan energy, reducing heat load and so on. Of course, the effectiveness and cost of most of these options are interrelated. As noted above, the indicative additional

costs are applicable to certain classes of SCCRE, but also the size of the appliance; most of these apply to a 1.2 m or 2.5 m length cabinet.

System design and optimization

(ii) Cost-neutral EE upgrades

28. EE is one of the main design features that product development engineers consider during the development of new platforms, however, there are several other important factors that impact the design including manufacturability, reliability, cost, performance, etc. An engineer will always consider cost-neutral EE upgrades, whilst potentially improving other features. Some of the relevant examples of cost-neutral or cost-reduction EE upgrades include:

- (a) Micro-channel heat exchangers;
- (b) Improved fan designs;
- (c) Optimized air flow distribution;
- (d) Higher efficiency compressors; and
- (e) Evaporator and Condenser design optimization (within certain limits)

(ii) Additional cost savings opportunities from EE measures

29. Some EE measures should be studied holistically, as they can increase or decrease costs elsewhere. For example, using brushless DC motors (electronically commutated motors, ECM) fans in commercial refrigeration units would require the use of more expensive electrical conductor (3- or 4-wires DC conductor instead of the usual 2-wires AC conductor). In contrast, a higher efficiency commercial refrigerator requires less electrical power and thus smaller electrical wire gauge and switches with a lower total installed cost.

30. All aluminium micro-channel heat exchangers reduce material cost, require lower refrigerant charge/cost, and because they are smaller and lighter result in reduced chassis cost, reduced cover cost, reduced packaging cost, and reduced transportation and storage costs.

(iii) System design and optimization case study: Sino - US CFC-Free Super-Efficient Refrigerator Project

31. During the phase-down of CFC refrigerants, parties were interested in providing energy efficient solutions. One of the major studies performed was the “The Sino - US CFC-Free Super-Efficient Refrigerator Project Progress Report: Prototype Design & Testing” to promote the transformation of the Chinese industry to the production of CFC-free, super-efficient domestic refrigerators. Technologies examined in that effort included:

- (a) Non-CFC refrigerants and foam-blowing agents;
- (b) Alternate refrigeration cycles;
- (c) More efficient compressors;
- (d) Optimization of condenser and evaporator designs;
- (e) Increased insulation thickness; and

- (f) Improvements to door gaskets and controls.

32. EPA (1997) reported that the China Household Electric Appliance Research Institute (CHEARI), the Haier Group, and the University of Maryland collaborated to build and test typical Chinese refrigerators, evaluate Chinese consumer opinion research on the marketing of ozone-friendly, energy-efficient refrigerators, and perform field testing for one year in three Chinese cities to test the performance of units under actual operating conditions. EPA (1997) concluded the following:

33. Laboratory tests have demonstrated that conversion from (CFCs) to alternative refrigerants and foam-blowing agents can be achieved along with substantial energy savings as shown Table 2.

Table 2: Summary of laboratory test results (EPA, 1997)

Energy savings	Technology improvement options employed
~20%	Lorenz cycle with non-CFC refrigerant blend
~20%	Increased foam insulation (about 2 cm) to sides, back, bottom, and (1 cm) to both doors of cabinet
~40%	Increased foam insulation and improved compressor
~50%	Increased insulation, improved compressor, and Lorenz cycle with non-CFC refrigerant blend

34. Chinese consumer opinion research showed that Chinese consumers care more about the quality of the product and they are willing to pay 20 per cent more for a higher quality product which consumes 40 per cent less energy than the models currently available.

35. The optimized models showed significant higher energy savings in the field than in laboratory tests; however, noise level was a concern with the field-tested units.